



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

NIA KORPELA  
METALLITUOTETEOLLISUUTEEN OPTIMOIDUT  
MAALIPINNOITTEET  
Diplomityö

Tarkastaja: Professori Jyrki Vuorinen  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Teknisten tieteiden tiedekuntaneuvoston  
kokouksessa 03. joulukuuta 2014

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Materiaalitekniikan koulutusohjelma

**KORPELA, NIA:** Metallituoteteollisuuteen optimoidut maalipinnoitteet

Diplomityö, 102 sivua, 18 liitesivua

Maaliskuu 2015

Pääaine: Muovit ja elastomeerit

Tarkastaja: professori Jyrki Vuorinen

Avainsanat: Muovipinnoitteet, coil coating, metallituoteteollisuus, sisäkäyttöpinnoitteet, pinnoitemarkkinat, joustavuus, kulutuskestävyys, väri, kiilto, struktuuri, koristeelliset pinnoitteet

Coil coating -teollisuudessa teräsohutlevy pinnoitetaan esimerkiksi maalilla tai lakalla jatkuvatoimisella pinnoitusmenetelmällä. Muovipinnoitteita käytetään suojaamaan teräsohutlevytuotteita valmistuksen ja käytön aikaisilta rasituksilta sekä antamaan tuotteelle haluttu ulkonäkö. Metallituoteteollisuudessa valmistetaan teräsohutlevystä pieniä tuotteita pääasiassa sisäkäyttösovelluksiin. Sisäkäyttötuotteisiin soveltuvien pinnoitteiden tärkeimmät ominaisuudet ovat joustavuus, kulutuskestävyys sekä ulkonäkö, kuten väri, kiilto ja pinnan struktuuri.

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää metallituoteteollisuuteen optimoitujen muovipinnoitteiden markkinoita. Työn lähtökohtana oli Ruukin (nyk. SSAB) sisäkäyttöpinnoitevalikoiman yhtenäistäminen ja uusien, mahdollisesti nykyisiä tuotteita korvaavien pinnoitteiden kartoittaminen. Pinnoitemarkkinoiden tarjontaa selvitettiin maalinvalmistajien internet-sivujen avulla sekä ottamalla heihin yhteyttä. Kysyntää selvitettiin haastattelemalla Ruukin asiakkaita puhelimitse. Markkinatutkimuksessa keskityttiin erityisesti kartoittamaan pinnoitteita, joilla on jokin erikoisominaisuus, kuten erinomainen joustavuus, kulutuskestävyys tai koristeellinen ulkonäkö.

Tarjonnasta valittiin mielenkiintoisimmat pinnoitteet, jotka maalattiin laboratoriossa. Pinnoitteiden ominaisuuksia testattiin useilla joustavuutta ja kulutuskestävyyttä mittaavilla testeillä. Tuloksia vertailtiin sekä keskenään että Ruukin pinnoitteiden ominaisuuksiin. Testien perusteella Ruukin nykyiset pinnoitteet ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan markkinoiden parhaimpia, joten tarvetta pinnoitteiden korvaamiselle ei ole. Pinnoitteiden joukosta valittiin kaksi pinnoitetta maalattaviksi jatkuvatoimisella pinnoituslinjalla. Maalattu ohutlevymateriaali toimitettiin kahdelle asiakasyritykselle koemuovaukseen. Molemmat pinnoitteet kestivät muovaukset, mutta pinnoitteiden ulkonäköä ei koettu massatuotantoon soveltuvaksi.

Markkinaselvityksen perusteella nykytilanne kysynnän ja tarjonnan välillä on hyvä, sillä joustavia ja kulutuskestäviä pinnoitteita on tarjolla paljon. Ainostaan koristeellisten pinnoitteiden kohdalla vaikutti olevan ylitarjontaa, koska niille ei koettu olevan tarvetta eikä mielenkiintoa haastateltujen asiakkaiden keskuudessa. Koska markkinoita ei ole, ne pitää luoda. Koristeellisille pinnoitteille pitää kehittää sopivia käyttökohteita, ja tarjota niitä asiakkaille aktiivisesti. Opinnäytetyöstä on laadittu kaksi erilaista versiota, joista julkaisematon painos sisältää luottamuksellisen liitteen.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Materials Engineering

**KORPELA, NIA:** Plastic Coatings for Metal Product Industry

Master of Science Thesis, 102 pages, 18 Appendix pages

March 2015

Major: Plastic and Elastomer Technology

Examiner: Professor Jyrki Vuorinen

Keywords: Plastic coatings, coil coating, metal product industry, coatings for interior use, coating markets, flexibility, abrasion resistance, colour, gloss, structure, decorative coatings

In coil coating industry steel sheet is coated for example with paint or varnish in continuous line. Plastic coatings are used for protecting steel sheet products from the effects of manufacturing and end use, as well as to provide the desired appearance. In metal product industry small products are manufactured from steel sheet material, mainly for interior use. The most important coating properties in indoor applications are flexibility, abrasion resistance and appearance, including colour, gloss and the structure of the surface.

The aim of the thesis was to study the market of the plastic coatings optimized for metal product industry. The basis of the study was to unify the indoor coating portfolio of Ruukki (today SSAB) and to chart new coatings to complement the portfolio or substitute existing coatings. The coatings market was studied by exploring the web pages of the paint producers and contacting them. The demand was studied by interviewing the customers of Ruukki via telephone. The market research was focused on the coatings with special properties: excellent flexibility, abrasion resistance or decorative appearance.

The most interesting coatings from the ones analyzed were chosen to be painted in the laboratory. The mechanical properties, flexibility and abrasion resistance, were tested with several test methods. The results were compared to each other as well as to Ruukki's existing coatings. Tests showed that Ruukki's coatings are amongst the best in the market; therefore, there is no need for substituting existing coatings. Two of the tested coatings with special properties and decorative appearance were chosen to be painted in the continuous coating line. The material was delivered to two accounts for profiling trials. Both of the coatings overcame the profiling, nevertheless, the appearance of the coating was not considered to be applicable for mass production.

According to the market research present market situation is good since there are plenty of flexible and abrasion resistant coatings in the market. However, there seems to be an oversupply of decorative coatings. Among the interviewed customers there is no need or interest in the decorative coatings; therefore, market must be created. New possible applications could be developed for decorative coatings and offer them to the customers regularly. There are two different versions of this thesis. The unpublished version includes a secret appendix.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin Ruukki Metals Oy:n (nyk. SSAB Europe Oy) maalipinnoitettujen tuotteiden tuotekehitysosastolle Hämeenlinnaan. Kokeellisessa osuudessa tutkittujen näytteiden maalaus suoritettiin Top Analytica Oy Ab:n tutkimuslaboratoriossa Turussa, ja testaus Ruukin tuotekehityslaboratoriossa Hämeenlinnassa. Kokeellisen osuuden maalauskoeajo tehtiin Ruukin Kankaanpään maalipinnoituslinjalla. Työn tarkastajana toimi professori Jyrki Vuorinen Tampereen teknillisen yliopiston materiaaliopin laitokselta. Ruukin puolesta diplomityön ohjaajina toimivat tuotekehityssinööri Katri Kivihaka ja tuotekehityspäällikkö Antti Markkula.

Tahdon kiittää työni tarkastajaa Jyrkiä kommenteista sekä suuntaviivojen osoittamisesta etenkin työn alkumetreillä. Suuri kiitos myös Ruukille diplomityöni mahdollistamisesta sekä rahoituksesta. Tämän opiskelu-urani suurimman haasteen suorittamiseen en olisi voinut toivoa mukavampaa paikkaa tai aihetta. Olen etuoikeutettu ja hyvin onnekas, että olen saanut työskennellä näin hienossa työympäristössä näin hienojen ihmisten kanssa. Suurimmat kiitokset haluan osoittaa työni ohjaajille Katrille ja Anttille asiantuntevista ohjeista, ongelmien ratkaisusta, jatkuvasta kannustuksesta, kärsivällisyydestä sekä henkisestä tuesta koko diplomityöprosessin aikana.

Lämpimän kiitoksen osoitan koko tuotekehitysosaston henkilökunnalle avusta, jota sain aina kun sitä tarvitsin, sekä päivittäisestä kahvipöytäseurasta. Lisäksi kiitoksen ansaitsevat kaikki muut Ruukin tuotannon, myynnin ja teknisen asiakaspalvelun työntekijät, jotka edesauttoivat diplomityöni etenemistä sen eri vaiheissa. Näytteiden testaukseen sekä tulosten tulkintaan sain korvaamatonta apua tuotekehityslaboratorion ”tädeiltä”. Näytteiden maalauksessa minua opastivat ja avustivat Top Analytican Ville Saarimaa, Virpi Turunen ja Jere Manni. Kiitos Jerelle myös Turku-sivistykseni kasvattamisesta. Lisäksi kiitos, thank you ja tack kaikille muille yhteistyöyrityksille, joita olivat The Valspar Corporation, Korean Chemical Company, Beckers Industrial Coating, BASF Corporate, Metallivalmiste A. Laaksonen Oy ja Forssan LVI-valmiste Oy.

Lopuksi tahdon kiittää perhettäni, joka on tukenut ja kannustanut minua aina. Iso kiitos kuuluu myös kaikille opiskelukavereilleni, ihanille Uranaisille sekä YO-kuntaperheelleni kaikesta avusta opinnoissa sekä antoisasta opiskelijaelämästä. Erityiskiitos Meijalle, Maijalle, Marjo-Riikalle, Aarolle ja Anabelille oikolukuavusta. Viimeisen sydämellisen kiitoksen osoitan Hämeenlinnan tukijoukoilleni kannustuksesta ja loputtomasta uskosta minuun.

Tampereella 12.3.2015

---

Nia Korpela

## SISÄLLYS

1	Johdanto .....	1
2	Jatkuvatoiminen maalipinnoitus Ruukilla.....	3
2.1	Teräsohutlevyn valmistaminen .....	3
2.2	Jatkuvatoiminen maalipinnoitus .....	5
2.3	Pinnoitekerrosten tehtävät .....	9
2.4	Maalin koostumus ja maalattavuus .....	10
3	Metallituoteteollisuuden maalipinnoitteilta vaadittavat ominaisuudet .....	14
3.1	Mekaaniset ominaisuudet.....	15
3.2	Ulkonäköominaisuudet .....	19
3.3	Muut ominaisuudet .....	22
3.4	Muovipinnoitetun ohutlevyn käsittely ja muovaus .....	24
4	Metallituoteteollisuuteen soveltuvien pinnoitteiden tarjonta .....	28
4.1	Ruukilla käytössä olevat maalipinnoitteet .....	29
4.2	The Valspar Corporation.....	31
4.3	Korean Chemical Company .....	33
4.4	Beckers Industrial Coating .....	34
4.5	Muut maalinvalmistajat.....	35
4.6	Tarjonnan yhteenvedo.....	36
4.7	Ruukilla testattuja tai valmistettuja pinnoitteita.....	37
5	Metallituoteteollisuuteen soveltuvien pinnoitteiden kysyntä.....	39
5.1	Nykyiset pinnoitteet käyttökohteissa .....	40
5.2	Pinnoitteelta vaadittavat ominaisuudet .....	41
5.3	Yritysten arvot.....	42
5.4	Ohutlevyteräksen käyttö.....	44
6	Kokeelliset menetelmät .....	46
6.1	Näytteet .....	46
6.2	Näytteiden laboratoriomaalaus.....	48
6.3	Visuaalisten ominaisuuksien ja kalvonpaksuuden mittaaminen .....	51
6.4	Joustavuuden ja muovattavuuden testaaminen .....	52
6.5	Kovuuden ja kulutuskestävyyden testaaminen .....	55
6.6	Pinnoitteen kovettumisen onnistumisen ja adheesion testaaminen.....	59
7	Testaustulokset.....	62
7.1	Visuaaliset ominaisuudet, kalvonpaksuus ja maalauksen onnistuminen .....	62
7.2	Joustavuus ja muovattavuus .....	67
7.3	Kovuus ja kulutuskestävyys .....	70
7.4	Pinnoitteen kovettumisen onnistuminen, liuottimienkesto ja adheesio .....	74
7.5	Yhteenvedo pinnoitteiden ominaisuuksista .....	76
8	Maalauskoeajo ja koeprofilointi.....	79
8.1	Linjamaalaus .....	79
8.2	Koeprofilointi .....	85

9	Virhearviointi .....	91
9.1	Asiakashaastattelut .....	91
9.2	Laboratoriomaalaus .....	92
9.3	Laboratoriotestit .....	93
9.4	Linjakoemaalaus .....	94
10	Tutkimuksen yhteenveto ja tulosten tarkastelu .....	95
11	Johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset .....	98
	Lähteet .....	99
	Liitteet .....	103

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Adheesio	Kahden kalvon rajapinnan välinen tarttuvuus.
Barrier	Kromivapaassa esikäsittelyssä vaikuttavien ionien saostuma substraatin pintaan. Saostuma suojaa metallia kosteudelta.
Brown Goods	Suhteellisen pieniä kodinkoneita, kuten TV:t, radiot ja tietokoneet.
Coil coating	Teräsohutlevyn maalipinnoitus.
Diffuusio	Spontaani fysikaalinen ilmiö, jossa molekyylit pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan tasoittaen mahdolliset pitoisuuserot.
Dispersio	Kaksi ainetta sekoittuu toisiinsa muodostaen homogeenisen aineen.
Flokkuloituminen	Löyhä saostuminen toisten kolloidihiuksien kanssa.
Harts	Polymeerin ja lisäaineiden muodostama seos.
Hiarc	Ruukin rekisteröimä tuotenimi pääasiassa PVDF-pohjaisille maalipinnoitteille.
Kolloidit	Pieniä hiukkasia, jotka voivat olla nesteessä erillään (eli dispergoituneena) tai ryppäissä (eli agglomeroituneena /aggregoituneena tai koaguloituneena).
Korroosio	Ympäristön vaikutuksesta, kemiallisen tai sähkökemiallisen ilmiön seurauksena tapahtuvaa materiaalin muuttumista käyttökelvottomaan muotoon.
Mica	Kiillepigmentti, joka muodostaa helmiäisefektin pinnoitteeseen.
Primer	Pinnoitteen ominaisuuksien parantamiseksi käytetty pohjamaali, jonka päälle maalataan peittävä pintamaali.
Profilointi	Teräsohutlevyn muovaaminen.
Pural	Ruukin polyuretaanipohjainen maalipinnoite.
Purex	Ruukin pinnoite, jossa käytetään polyesterisideaineen silloittajana melamiinia ja isosyanaattia.

Reologia	Nesteen muodonmuutos- ja virtausominaisuudet.
Substraatti	Ohutlevyalusta, jonka päälle pinnoite maalataan.
Struktuuri	Maalipinnoitteeseen tarkoituksella tehty topografia.
Viskositeetti	Nesteen kyky vastustaa virtausta. Viskositeetin kasvaessa nesteen vastustus virtaukselle kasvaa.
White Goods	Suuria kodinkoneita, kuten pesukoneet, jääkaapit ja hellat, jotka tyypillisesti ovat maalattu valkoiseksi.
Work to break	Työ, joka tehdään materiaalin murtumiseksi.

## LYHENTEET

ARS	Abrasion Resistant System. Ruukin polyesteripohjainen maalipinnoite, joka on kehitetty kulutuskestävyyttä vaativia sovelluksia varten.
Cr <sup>6+</sup>	Kromi-ioni, jonka hapetusluku on kuusi (6).
ESE	Elastic Strain Energy. Elastisesta muodonmuutoksesta aiheutuva maalipinnoitteeseen varastoitunut energia.
HDG	Hot Dip Galvanized. Sinkitty kastamalla metalliohutlevy sulaan sinkkiin.
KOH	Kaliumhydroksidi
KyVa	Kylmävalssattu
NaOH	Natriumhydroksidi
MEK	Metyylietyyliketoni
PA	Polyamidi
PES	Polyesteri
PMT	Peak Metal Temperature. Lämpötila, joka teräksen tulee saavuttaa, jotta sen päälle maalattu pinnoite kovettuu saavuttaen sille tyypilliset fysikaaliset ominaisuudet.
PUR	Polyuretaani



PVC	Pigmentti-tilavuussuhde, engl. Pigment Volume Concentration
PVDF	Polyvinyylideenifluoridi
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista.
RWS	Sadevesijärjestelmä, engl. Rainwater System
T <sub>b</sub>	Hauras-sitkeäsiirtymälämpötila
T <sub>g</sub>	Lasi siirtymälämpötila

# 1 JOHDANTO

*Coil coating* -teollisuudessa metalliohutlevyä pinnoitetaan orgaanisella pinnoitteella, kuten maalilla tai lakalla, jatkuvatoimisessa pinnoitusprosessissa. Maalilla tai lakalla pinnoitettua teräsohutlevyä käytetään lukuisissa sovelluksissa sekä kotitalouksissa että teollisuudessa. Muovipinnoitteet voidaan luokitella käyttökohteen mukaan sisä- ja ulkokäyttöön soveltuviin pinnoitteisiin. Ulkokäyttöön soveltuvasta maalipinnoitetusta teräsohutlevystä valmistetaan esimerkiksi kattoja, sadevesijärjestelmiä ja seinäpaneeleita julkisivuihin. Sisätiloihin suunniteltuja pinnoitteita käytetään muun muassa kodinkoneissa, ilmastointi- ja lämmityslaitteissa sekä elektroniikkalaitteissa.

Sisäkäyttöpinoitteilta ei vaadita UV-säteilyn eikä sääolosuhteiden kestävyttä, kuten ulkokäyttöpinoitteilta. Näin ollen niiden ensisijainen tehtävä on suojata materiaalia valmistusvaiheessa ja käytössä aiheutuville rasituksille ja antaa tuotteelle haluttu ulkonäkö. Sisäkäyttöpinoitteen tärkeimmät mekaaniset ominaisuudet ovat kulumisen, kuten naarmuuntumisen ja hankauksen kestävyys sekä joustavuus, joka korostuu etenkin profiloituvaiheessa.

Tässä työssä tutkitaan metallituoteteollisuuteen soveltuvien maalipinoitteiden markkinoita. Tutkimus on tehty entisen Ruukki Metals Oy:n toimeksi antamana. Ruukki Metals Oy (tässä työssä myös ”Ruukki”) on sittemmin muuttanut nimensä SSAB Europe Oy:ksi, joka on osa SSAB Ab -konsernia. Tässä työssä metallituoteteollisuudella tarkoitetaan teollisuuden alaa, joka valmistaa suhteellisen pieniä, korkeintaan muutaman metrin kokoisia tuotteita teräsohutlevystä. Koska esimerkiksi katto- ja julkisivumateriaalit on rajattu pois, voidaan katsoa, että teräsohutlevytuotteita valmistetaan pääasiassa sisäkäyttöön. Näin ollen niissä käytettäviltä pinoitteilta vaaditaan ensisijaisesti mekaanista kestävyttä ja tietynlaisia ulkonäköominaisuuksia. Kuitenkaan käytännössä ulkokäyttöpinoitteita ja niiden säänkesto-ominaisuuksia ei voida kokonaan rajata tutkimuksen ulkopuolelle, sillä metallituoteteollisuuden komponentteja ovat myös esimerkiksi postilaatikot ja taajuusmuuttajan kotelot, joita käytetään niin sisä- kuin ulkotiloissa. Toisaalta metallituoteteollisuuden komponentteja ovat myös niin sanotut *white goods* -tuotteet, joita ovat esimerkiksi jääkaapit, pakastimet, pesukoneet ja muut suuret kodinkoneet. Ruukilla valmistetaan hyvin vähän pinoitteita *white goods* -tuotteisiin, minkä vuoksi myös ne on rajattu työn ulkopuolelle.

Ruukki valmistaa tällä hetkellä noin 20 eri sisäkäyttöpinoitetta, joista neljä on luokiteltu tuotehierarkiassa Premium-tason tuotteiksi, eli korkealaatuisiksi pinoitteiksi kullekin

ominaisen erityispiirteen vuoksi. Premium-tasoisia sisäkäyttöpintoja ovat polyuretaanipohjainen Pural, PVDF-pohjainen Hiarc, ARS-polyesteri (Abrasion Resistant System) ja struktuuripolyesteri. Muut sisäkäyttöpinnat luokitellaan standard-tason tuotteiksi. Standard-tason sisäkäyttöpintoissa on kaikissa sama sideaine, polyesteri, mutta kiiltoasteet ja pinnatpaksuudet vaihtelevat. Sisäkäyttötuotteita voidaan pinnottaa myös laminaateilla, mutta tästä työstä ne on rajattu pois.

Pintoja on vuosien saatossa räätälöity kullekin asiakkaalle mieleiseksi, jolloin ongelmaksi on muodostunut sisäkäyttöpintojen valikoiman hajanaisuus. Tämän työn tarkoituksena on tutkia voisiko tuoteportfoliota yhtenäistää niin, että olisi yksi hyvä pinta kuhunkin tarkoitukseen eikä niin, että jokaiselle asiakkaalle räätälöidään oma ratkaisu. Pitkän tähtäimen tavoitteena on kehittää korkealaatuinen tuoteperhe, johon kuuluu ainakin yksi kulutusta kestävä pinta, yksi joustava pinta ja yksi lämpöä kestävä pinta. Lisäksi valikoimassa voisi olla koristeellisia pintoja, joiden ulkonäkö toisi tuotteeseen lisäarvoa.

Työn kirjallinen osuus koostuu teoriaosuuden lisäksi kahdesta osasta. Ensimmäisessä osassa selvitetään millaisia pintoja maalintuottajilla on tarjota edellä mainittuihin kategorioihin. Selvitetään esimerkiksi parhaat tarjolla olevat sisäkäyttöön soveltuvat kulutuskestävät pinnat sekä markkinoiden joustavimmat pinnat. Tarjontaa tutkitaan yritysten internet-sivujen kautta ja tiedustelemalla suoraan tunnetuilta maalintuottajilta. Tuotteiden ominaisuuksia verrataan toisiinsa, mutta samalla tarkastellaan, onko markkinoilla sisäkäyttöön tarkoitettuja maalipintoja, jotka ovat ominaisuuksiltaan parempia kuin Ruukin nykyiset tuotteet. Toisessa osassa tutkitaan asiakkaiden eli konepajatuotteita valmistavien yritysten tarpeita. Haastatellaan Ruukin asiakkaita ja selvitetään, mitä pintaominaisuuksia maalipinnatun ohutlevyn käyttäjät arvostavat niin mekaanisten ominaisuuksien kuin ulkonäönkin kannalta.

Kokeellisessa osuudessa testataan maalintuottajien tarjoamia pintoja ensin laboratoriomittakaavassa. Laboratoriomaalattujen pintojen testaustulosten perusteella valitaan mielenkiintoisimmat pinnat tuotantomittakaavan testaukseen. Toisessa vaiheessa testataan Ruukin maalipintalinjalla, kuinka hyvin valitut pinnat soveltuvat linjamaalaukseen. Linjamaalattua koemateriaalia toimitetaan valituille asiakasyrityksille, joiden kanssa yhteistyössä tehdään koeprofilointi. Tarkoituksena on testata, kuinka ensimmäisessä vaiheessa todetut pintaominaisuudet vastaavat asiakkaan odotuksia.

## **2 JATKUVATOIMINEN MAALIPINNOITUS RUUKILLA**

Tämän työn toimeksiantaja on Ruukki Metals Oy, joka on osa entistä Rautaruukki-konsernia. Rautaruukki Oyj oli suomalainen teräkseen ja energiantehokkaaseen teräsrakentamiseen erikoistunut yhtiö, kunnes heinäkuussa 2014 toteutuneen osakevaihdon myötä se on nyt ruotsalaisen SSAB:n tytäryhtiö. SSAB on maailmanlaajuisesti toimiva teräsyhtiö, jonka päätuotantolaitokset ovat Ruotsissa, Yhdysvalloissa ja nyt myös Suomessa. Uusi SSAB työllistää yhteensä noin 17 300 henkilöä 50 maassa. SSAB on markkinajohtaja pitkälle kehitettyjen lujien terästen ja nuorrutusterästen sekä nauha-, levy- ja putkituotteiden sekä rakentamisen ratkaisujen tarjoajana. Vuotuinen teräksenvalmistuskapasiteetti on 8,8 miljoonaa tonnia. [1][2]

Rautaruukki-konserni jakautui kolmeen osaan. Ruukki Metals vastasi Ruukin terästuotteiden valmistuksesta sekä niihin liittyvistä käsittely-, logistiikka- ja varastointipalveluista. Terästuotteisiin kuuluivat muun muassa pinnoitetut terästuotteet, erikoisterästuotteet sekä putket ja profiilit. Ruukki Construction jakautui kahteen osaluokkaan: Ruukki Building Products ja Ruukki Building Systems. [1] Uuden, yhdistyneen SSAB:n organisaatio jakautuu viiteen divisioonaan: SSAB Special Steels, SSAB Europe, johon entinen Ruukki Metals Oy sisältyy, SSAB Americas, jakeluun keskittyvä Tibnor ja entisellään pysyvä, rakentamiseen keskittyvä Ruukki Construction.

Syksyllä 2014 eletään vielä siirtymäaikaan yhtiöiden toimintojen yhdistämiseksi. Esimerkiksi SSAB:n uusi, yhteinen tuoteportfolio valmistuu vuoden 2015 alussa. Siihen asti portfolio sisältää molempien yritysten tuotteet entisillä brändinimillään. [2] Kun tässä työssä käytetään nimeä Ruukki, viitataan sillä entiseen Rautaruukki Oyj:hin eli nykyiseen SSAB:hen.

Maalipinnoitetut teräsohutlevytuotteet ovat olleet osa Ruukin tuotevalikoimaa jo vuodesta 1977. Ruukilla maalipinnoitettuja tuotteita voidaan valmistaa maalipinnoituslinjoilla Hämeenlinnassa, Kankaanpäässä ja Itä-Ukrainassa Antratsitin kaupungissa. [1] Tämän luvun tarkoitus on tutustua lyhyesti jatkuvatoimiseen maalipinnoitukseen yleisesti sekä teräsohutlevyn valmistamiseen ja maalipinnoitusprosessiin Ruukilla.

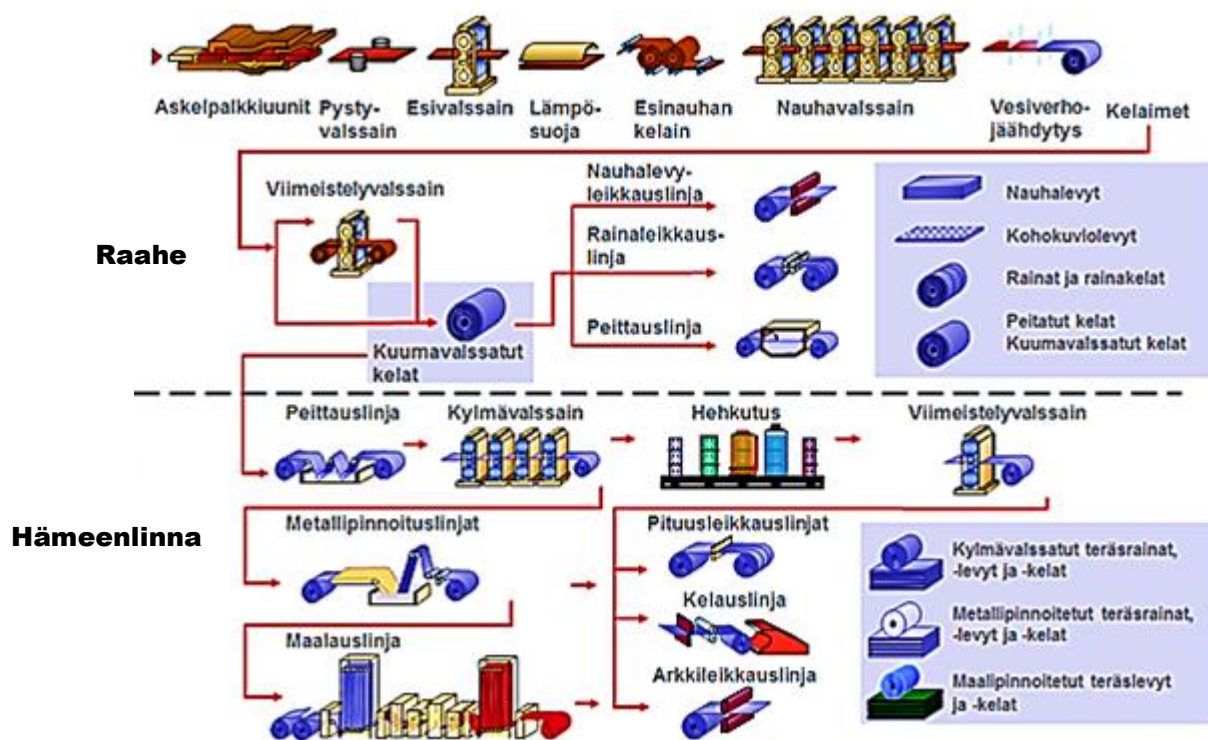
### **2.1 Teräsohutlevyn valmistaminen**

Teräsohutlevyn matka kohti maalipinnoitusta alkaa Raahesta. Ruukin Raahen tehtaalla tuotetaan terästä vuosittain yli 2 miljoonaa tonnia. Teräsohutlevyä valmistetaan valssaamalla teräsaihioita. Valssauksessa aihio kulkee kahden pyörivän rullan eli valssin

välissä joko edestakaisin tai yhteen suuntaan. Valssit puristavat teräsaihiota jopa 20 000 kN:n voimalla, jolloin teräs ohenee, pitenee ja muokkautuu. Ensin 1250 °C:ksi kuumennettu teräs kuumavalssataan noin 200 mm paksuisesta ahiosta minimissään 5 mm:n paksuiseksi nauhaksi. Kuumavalssauksen aikana teräksen raekoko pienenee, jolloin teräs lujittuu.

Kuumavalssatut nauhakelat kuljetetaan Hämeenlinnaan, jossa ne peitataan, kylmävalssataan ja maalipinnoitetaan. Peittauksessa nauhasta poistetaan kuumavalssauksen aikana syntynyt rautaoksidikerros suolahapon avulla. Peittauksen jälkeen nauha kylmävalssataan eli ajetaan huoneen lämpötilassa nelivaiheisen tandem-valssaimen läpi. Kylmävalssauksen aikana teräsnauha ohenee edelleen noin 40–90 % eli 0,5–3,0 mm:n paksuiseksi. Kylmävalssauksessa teräs muokkauslujittuu: teräksen kiderakenne orientoituu valssausuuntaan, mikä parantaa pinnan laatua sekä kasvattaa myötö- ja murtolujuutta, mutta toisaalta aiheuttaa murtovenymän pienenemisen, jolloin muovattavuus heikkenee. Muovattavuus voidaan palauttaa rekristallisaation avulla eli hehkuttamalla terästä (650–720) °C:ssa uunissa 30–70 tunnin ajan. Hehkutetut kelat viimeistellään tempervalssaimella, jolloin teräksestä poistuu hehkutuksen aiheuttama, haitallinen myötörajailmiö. Nauhan pinta tasoittuu, ja saadaan aikaan haluttu pinnan karheus. [3, s. 49–68][4, s. 25–57]

Ennen maalausta teräsohutlevy yleensä galvanoidaan, eli pinnoitetaan sinkillä korroosion keston parantamiseksi. Ruukilla galvanointi tehdään jatkuvatoimisella kuumasinkityksellä. Teräsnauha kulkee altaan läpi, jossa sula sinkki reagoi teräksen kanssa ja tarttuu nauhan pintaan. Osa keloista toimitetaan asiakkaille sinkittyinä, ja noin kolmasosa jatkaa matkaansa edelleen maalipinnoituslinjalle. [4, s. 62–63][5] Kuvassa 2.1 on havainnollistettu Ruukin koko tuotantoketju vaihe vaiheelta.



Kuva 2.1. Teräsohutlevyn tuotanto Ruukilla. [1]

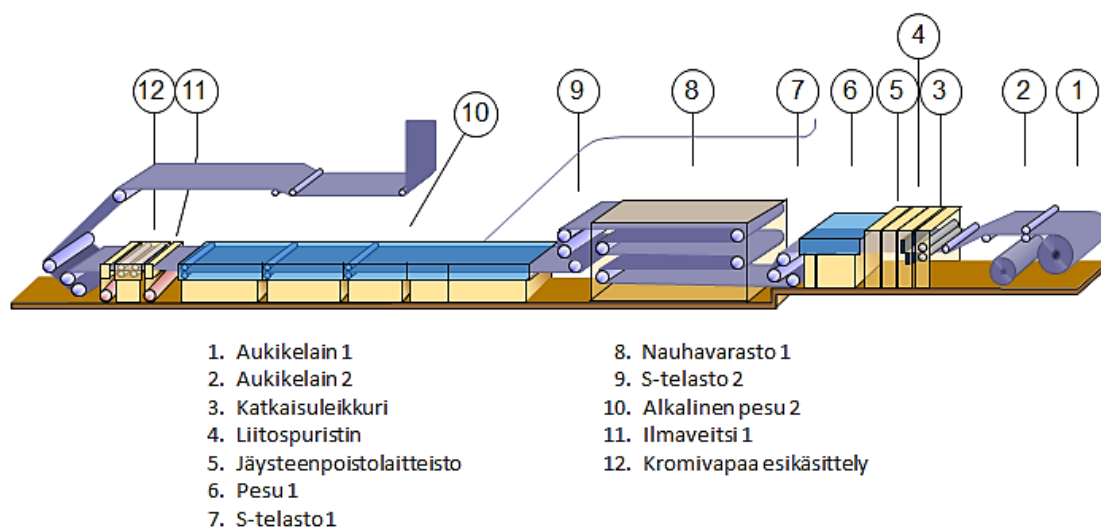
## 2.2 Jatkuvatoiminen maalipinnoitus

*Coil coating* on menetelmä, jossa metallinen ohutlevykela, tyypillisesti teräksinen tai alumiininen, pinnoitetaan jollain orgaanisella pinnoitteella jatkuvalla prosessilla. Orgaanisia pinnoitteita ovat muovipinnoitteet, kuten maalit ja lakat, sekä laminaatit. Muovipinnoite kovetetaan uunissa heti pinnoittamisen jälkeen. Laminaattipintaa tehtäessä metallisubstraatin pintaan levitetään liima, joka aktivoidaan uunissa, minkä jälkeen laminaatti kiinnitetään pintaan. [6, s. 14] Tässä työssä keskitytään lähinnä maaleihin ja lakkoihin, ja laminaatit on rajattu pois. Koska maalien ja lakkojen pinnoitusprosessi ei eroa toisistaan, käytetään tässä työssä, kuten myös Ruukilla yleisesti sanaa maalipinnoitus kaikesta muovipinnoituksesta.

Jatkuvatoimisen maalipinnoituksen etuja ovat pinnan tasalaatuisuus ja tuotannon edullisuus. Pinnoitus tehdään puhtaalle pinnalle valvotuissa vakio-olosuhteissa, ja materiaalia valmistetaan kerralla suuria eriä. [7, s. 12–13] Toisaalta jälkikäteen muovattavalta maalipinnalta vaaditaan joustavuutta sekä kulutuskestävyyttä, jotta se kestää muovausprosessin rikkoutumatta ja naarmuuntumatta. Lisäksi valmiiksi maalipinnoitettua materiaalia voidaan hitsata vain rajoitetusti. Vaihtoehtoinen tapa pinnoittaa metalliohutlevyä, on niin sanottu pulverimaalaus, joka tehdään muovatululle konepajatuotteelle jälkikäteen. Pulverimaalausta käytetään yleensä tuotteille, joiden tuotantoerät ovat pieniä tai joiden valmistusmenetelmä vaatii jälkimaalausta. Pulverimaalaukseen perehdytään tarkemmin luvussa 5.4.

Maalipinnoitettua metalliohutlevyä käytetään monilla eri teollisuusaloilla sekä sisä- että ulko-olosuhteissa. Rakennusteollisuus valmistaa siitä kattoja ja julkisivuja, kuljetusteollisuus ajoneuvojen koreja ja elektroniikkateollisuus sähkölaitteiden koteloita. Lisäksi maalipinnoitetusta teräksestä valmistetaan esimerkiksi sekä pienten että suurten kodinkoneiden kuoria ja huonekaluja. [6, s. 22–28]

Ruukin maalipinnoituslinjoilla pinnoitetaan sekä sinkittyä (HDG, engl. Hot Dip Galvanized) että kylmävalssattua (KyVa) terästä. Kankaanpäässä maalattavat kelat toimitetaan sinne Hämeenlinnasta, sillä Kankaanpäässä ei ole kylmävalssaus- tai sinkityslinjoja. Kankaanpään maalauslinjan pinnoitusprosessin alkupää on kuvattuna kuvassa 2.2. Prosessi alkaa aukikelaimilta. Kelan loppuessa liitetään toinen kela edelliseen mekaanisella liitoksella, ja nauhavaraja varmistaa jatkuvatoimisen pinnoituksen. Ennen varsinaista maalausta substraatti pestään kahdella alkalisella pesulla ja esikäsitellään. Alkalinen pesu poistaa rasvaa ja muita epäpuhtauksia sekä liuottaa sinkin pintaan muodostuneita sinkin ja alumiinin oksideja, mikä karhentaa pintaa ja parantaa näin *adheesiota* eli rajapintojen välistä tarttuvuutta. Pesuaineena käytetään kaliumhydroksidi- (KOH) ja natriumhydroksidiliuosta (NaOH). Pesun jälkeen alkalinen pesuaine huuhdellaan pois.

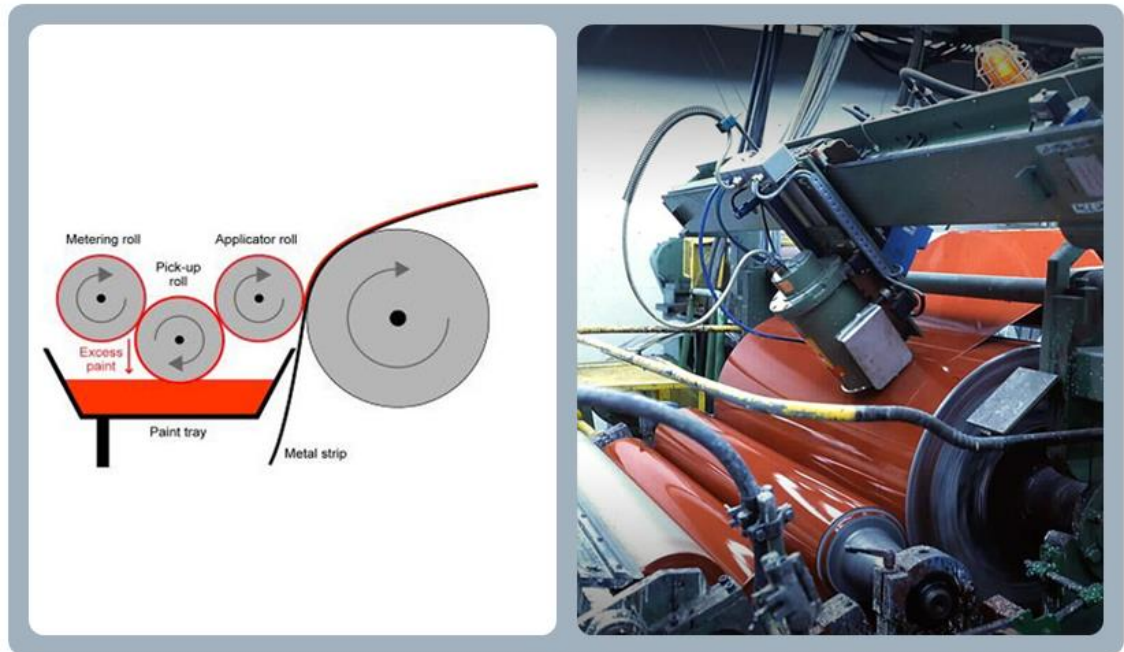


**Kuva 2.2.** Kankaanpään maalauslinjan alkupää. Muokattu lähteestä [8].

Esikäsitely tehdään suurimmaksi osaksi titaanihappoon perustuvalla kemikaalilla. Kromipassivointia ei juuri enää tehdä, sillä Ruukin maalipinnoituslinjoilla kuudenarvoisen kromin ( $\text{Cr}^{6+}$ ) käytöstä luovutaan vuoden 2014 loppuun mennessä Euroopan unionin REACH-asetuksen (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) mukaisesti.

Esikäsitelyn jälkeen substraatti pinnoitetaan pohjamaalilla eli *primerilla* sekä ylä- että alapuolelta. Maalausmenetelmä on telamaalaus: Maalautela nostaa maalin teräsnauhan

pintaan. Maalauksen jälkeen pohjamaali kovetetaan uunissa, josta nauha jatkaa matkaansa pinta- ja taustamaalaukoneelle. Pohjamaalauksessa Ruukilla on käytössä kaksitelamaalaustekniikka molemmille puolille, kun taas pintamaalaus tehdään molemmille puolille kolmella telalla. Kuvassa 2.3 on esitelty kolmetelainen maalaukone.



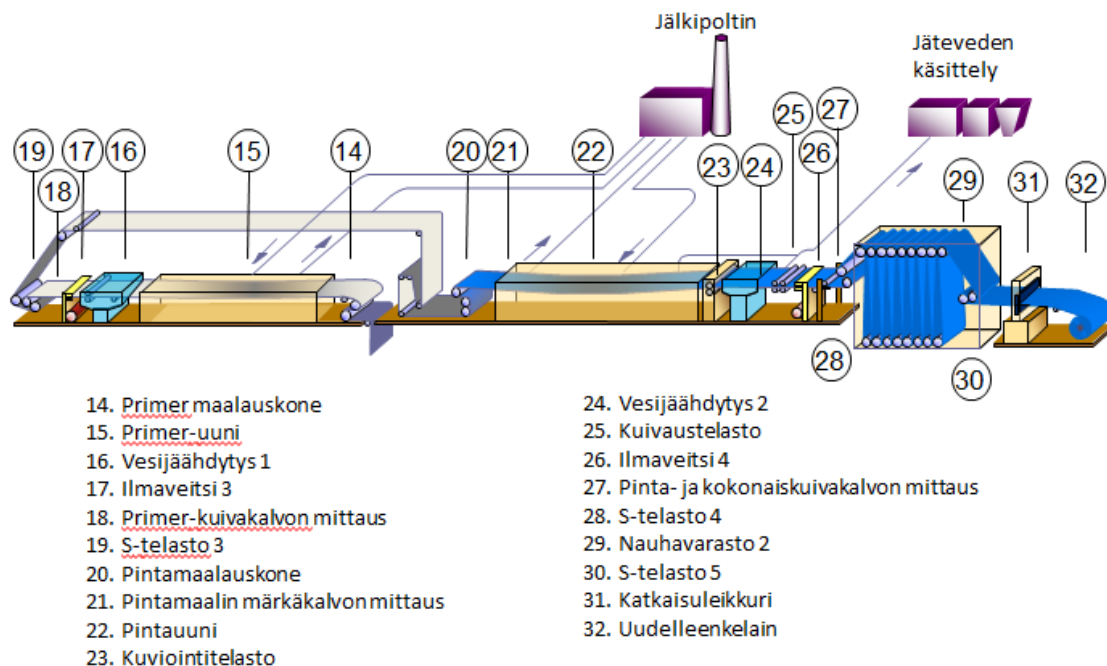
*Kuva 2.3. Kolmetelainen maalaukone. [5]*

Nostotela (pick-up roll) nostaa maalin kaukalosta (paint tray). Mittatela (metering roll) poistaa ylimääräisen maalin, jolloin saadaan tavoiteltu kalvonpaksuus. Maalaustela (applicator roll) siirtää maalin substraatin pintaan. Kaksitelainen maalaukone eroaa kolmetelaisesta siten, että mittatela ei ole. Kalvonpaksuutta säädetään muuttamalla nosto- ja maalaustelan etäisyyttä. Myös telanopeuksia muuttamalla voidaan hienosäätää kalvonpaksuutta: Mitä suurempi telanopeus, sitä paksumpi maalikalvo. [9]

Maalatut pinnat kovetetaan konvektiouunissa, jonka lämpötilat ovat säädettävissä (80–430) °C välillä. Lämpö aiheuttaa maalissa olevien liuottimien haihtumisen ja käynnistää maalin sideaineen polymeroitumisreaktion, jonka seurauksena pinnoite kovettuu. Uniin säädettävä lämpötila riippuu maalin *peak metal temperature* (PMT) -arvosta, eli lämpötilasta, joka teräksen on saavutettava, jotta sen päälle maalattu pinnoite kovettuu riittävästi saavuttaakseen sille tyypilliset fysikaaliset ominaisuudet. Ruukin pinnoitteiden PMT-arvot ovat välillä (204–254) °C. Pinnoite saavuttaa PMT-arvon uunin loppupäässä. Pintamaaliuunissa on viisi eri lämpötilavyöhykettä ja primer-uunissa neljä. Tyypillisesti tavoitellut PMT-arvot saavutetaan säätämällä vyöhykkeiden lämpötiloja välillä (280–350) °C. Pintamaaliuuni on pidempi kuin pohjamaaliuuni, sillä pintamaalin kovetus aika on suuremman kalvonpaksuuden vuoksi pidempi. Pinta- ja taustamaalin kovetuksen jälkeen nauhan päälle voidaan levittää suojakalvo, joka suojaa pinnoitetta materiaalin



jatkokäsittelyssä. Linjan lopussa ovat vielä nauhavarain, katkaisuleikkuri, laaduntarkistus ja kelain, kuten kuvassa 2.4 on nähtävissä. [4, s. 74–79][10]



**Kuva 2.4.** Kankaanpään maalauslinjan loppupää. [8]

Kuvissa 2.2 ja 2.4 on merkittynä useita S-telastoja ja ilmaveitsiä. S-telastot (7, 9, 19, 28 ja 30) vastaavat prosessissa siitä, että nauha liikkuu eteenpäin. Ilmaveitset (11, 17 ja 26) pitävät nauhan paikallaan sivuttaissuunnassa. Kohdassa 23 olevalla kuviointitelastolla on mahdollista tehdä juuri uunista tulleet, kuumaan pinnoitteeseen struktuurikuviointi. Tällä hetkellä kuviointitekniikkaa ei käytetä Ruukin tuotteissa.

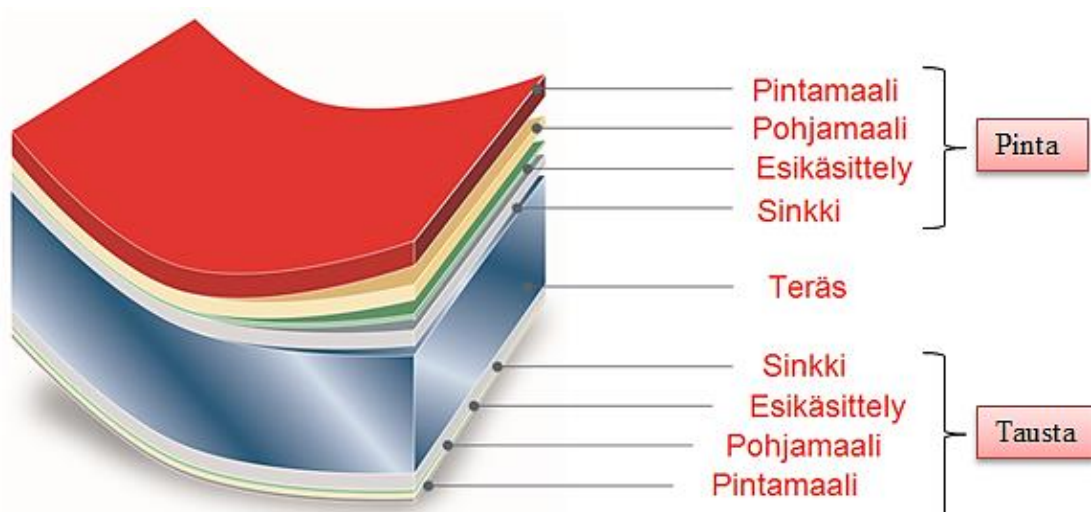
Hämeenlinnan maalipinnoitusprosessi on hyvin samanlainen kuin Kankaanpään. Suurin ero Hämeenlinnan ja Kankaanpään linjojen välillä on pesu- ja esikäsittelyvaiheessa. Kankaanpäässä ensimmäisen alkalipesun (kuvassa 2.2 kohta 6) jälkeinen huuhteluosuus on hyvin lyhyt, minkä vuoksi pesuaineena käytetään natriumhydroksidin sijaan kaliumhydroksidia (KOH). Toisessa alkalipesussa (kuvassa 2.2 kohta 10) kuitenkin käytetään natriumhydroksidia. Kankaanpäässä on vielä osittain käytössä kromillinen esikäsittely, mutta Hämeenlinnassa siitä on luovuttu jo. [11]

Hämeenlinnan maalauslinjalla voidaan pinnoittaa maksimissaan 1,5 mm paksua teräsnauhaa. Nauhan maksimileveys on 1400 mm, ja se kulkee linjalla korkeintaan 90 m/min nopeudella. Linjalla voidaan pinnoittaa korkeintaan 10 000 kg painavia keloja. Hämeenlinnan maalipinnoituslinjalla ajetaan pääasiassa polyesteri-, PVDF- ja Purex-pinnoitteita. Kankaanpään linjalla ajetaan pääasiassa Pural, Pural Matta ja Pural RWS -pinnoitteita. Lisäksi Kankaanpäässä maalipinnoitetaan leveämpiä keloja, sillä linjalla on mahdollista ajaa 1500 mm leveää nauhaa. Kankaanpään linjan maksiminopeus

on 65 m/min, minkä vuoksi Kankaanpään tuotantokapasiteetti on alhaisempi kuin Hämeenlinnan. [5][11][8]

## 2.3 Pinnoitekerrosten tehtävät

Tyypillisesti maalipinnoitetun teräksen pinnassa on molemmin puolin yhteensä neljä kerrosta. Pinnoitteen rakenne on esitetty kuvassa 2.5. Sinkkikerroksen tehtävä on suojata terästä korroosiolta. Sinkki on epäjalo metalli, joten se syöpyy helposti. Syöpymistuotteet muodostavat sinkin pintaan suojaavan kerroksen, joka estää korroosion etenemisen. Lisäksi, koska sinkki on rautaa epäjalompi metalli, ylempien kerrosten vaurioituessa sinkki toimii anodisena uhrautujana, mikä estää teräksen ruostumisen ja maalipinnan irtoamisen. [4, s. 69]



**Kuva 2.5.** Maalipinnoitetun teräsohutlevyn rakenne. Muokattu lähteestä [5].

Esikäsittelykerroksen tehtävä on suojata sinkkipintaa maalipinnoitteen läpi diffundoituvalta vedeltä, ja näin estää metallipintaa syöpymästä. Erona kromilliseen esikäsittelyyn on se, ettei titaanipohjaisella liuksella ole aktiivista itseparannuskykyä. Esikäsittelyliuos happamoi substraatin pinnan, jolloin muodostuu hydroksidi-, oksidi- ja fluoridi-ioneja. Ionit muodostavat vapaiden metalli-ionien kanssa yhdisteitä ( $\text{Ti}(\text{OH})_4$ ,  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiOF}_2$  ja  $\text{ZnF}_2$ ), jotka saostuvat substraatin pintaan. Ioniyhdisteiden välillä vallitsevat van der Waalsin voimat, minkä vuoksi pintaan muodostuu tiivis suojakerros (engl. barrier). Kerros suojaa metallia kosteudelta, mutta vaurioituessaan esimerkiksi naarmun syntyessä se ei pysty hidastamaan metallin korroosiota. [11][6, s. 58]

Sisäkäyttötuotteissa, joissa korroosionkestävyys ei ole kriittinen ominaisuus, korroosiosuojaa tärkeämpi tehtävä esikäsittelyllä on adheesion parantaminen. Esikäsittelyliuoksen polymeeriosa muodostaa pohjamaalin kanssa polymeeri-polymeeri-rajapinnan, jolloin molekyylien välille muodostuvat sidokset ovat vahvempia.

Sisäkäyttöön tarkoitetuissa tuotteissa sinkkikerros ei ole teoriassa välttämätön. Kuitenkin esikäsittely on suunniteltu nimenomaan sinkkipinnalle, minkä vuoksi sinkkikerroksen pois jättäminen saattaa huonontaa adheesiota. [10]

Myös pohjamaalin tehtävä on toimia adheesiota parantavana kerroksena pintamaalin ja metallisubstraatin välillä. Metallin ja muovin mekaaniset ja termiset ominaisuudet ovat hyvin erilaiset. Pohjamaali muodostaa vahvoja sidoksia molempiin ympäröiviin pinnoitekerroksiin ja näin parantaa materiaalien välistä adheesiota. Pohjamaalikerros on muovautuva ja lämpölaajeneva, jolloin se kestää hyvin mekaanisten ja termisten eroavaisuuksien aiheuttamaa rasitusta. Pohjamaalissa on yleensä korroosionestopigmenttejä, jolloin myös se suojaa terästä korroosiolta. Lisäksi pohjamaali muodostaa tasaisen alustan pintamaalille.

Pintamaali suojaa materiaalia UV-säteilyltä, kemikaaleilta ja muilta ympäristöolosuhteilta. Pintamaali toimii myös suojana mekaanista kulumista vastaan sekä antaa materiaalille visuaaliset ominaisuudet, kuten värin ja kiillon. Taustamaali jää usein piiloon, jolloin sen ominaisuuksille ei aseteta korkeita vaatimuksia. Tyypillisesti taustalla käytetään epoksimaalia sen hyvän liimattavuuden vuoksi. Tarpeen vaatiessa taustalle voidaan valita käyttötarkoituksen mukaan esimerkiksi epoksimaalia kestävämpi pinnoite. On kuitenkin huolehdittava, että pinta- ja taustamaalin kiiltoaste ovat samaa luokkaa, jotta vältytään niin sanotulta kiillonsiirtymä-ilmiöltä. [6, s. 36][4, s. 76][12, s. 6-7]

## 2.4 Maalin koostumus ja maalattavuus

Pinnoite koostuu maaleista, lakoista tai niiden yhdistelmästä. Maalit ja lakat ovat nestemäisiä aineita, jotka koostuvat polymeerisistä sideaineista, pigmenteistä ja lisäaineista sekä liuottimista. Maali on dispersioseos, jossa sideaine, pigmentit ja lisäaineet ovat liuenneena liuottimeen. Maali muodostaa maalattavan kohteen pinnalle läpinäkymättömän kalvon, joka suojaa materiaalia ympäristön haitoilta. Lakka on kolloidinen dispersio, jossa lakkahartsit on dispergoitunut liuottimeen. Lakkakalvo on läpinäkyvä, sillä se ei sisällä pigmenttejä. Lakka ei myöskään suojaa materiaalia samalla tavalla kuin maali.

Kun puhutaan maalin ominaisuuksista, tarkoitetaan ominaisuuksia, jotka märkämaalilta vaaditaan maalausvaiheessa (ts. maalattavuus). Puhuttaessa pinnoitteen ominaisuuksista tarkoitetaan niitä ominaisuuksia, joita kovettuneelta pinnoitteelta vaaditaan maalauksen jälkeen eli käyttökohteessa. Maalin koostumus eli sen sisältämät raaka-aineet vaikuttavat olennaisesti kaikkiin edellä mainittuihin ominaisuuksiin. [13, s. 122][14, s. 1-15] Tässä luvussa perehdytään maalien ja lakkojen raaka-aineisiin sekä maalattavuuteen. Seuraavassa luvussa 3 tutustutaan pinnoiteominaisuuksiin, joita vaaditaan sisäkäyttöön soveltuvilta pinnoitteilta.

Sideaine on maalin tärkein ainesosa. Tyypillisesti pinnoitteet nimetään sideaineen mukaan, sillä maalin ja pinnoitteen ominaisuuksien kannalta sideaineella on ratkaiseva merkitys. Sideaineet luokitellaan niiden kemiallisen rakenteen perusteella, ja samaa periaatetta käytetään tyypillisesti myös eri maalituotteiden ryhmittelyyn. Sideaineet ovat suurimolekyyllisiä kiinteitä tai nestemäisiä polymeerejä. Kiinteät ja hyvin korkeaviskoosiset sideaineet liuotetaan sopivan juoksevaksi ennen maalin valmistamista, kun taas matalaviskoosisia polymeerejä voidaan käyttää sellaisenaan sideaineeksi. Sideaineina voidaan käyttää myös emulsioita, joissa polymeeri on emulgoituna veteen. Ruukilla käytetään sideaineina polyesteriä (PES), polyuretaania (PUR), polyvinyyliidenifluoridia (PVDF) ja epoksia. Niihin tutustutaan tarkemmin luvussa 4.1.

Sideaine vaikuttaa muun muassa maalin kuivumisnopeuteen, koossapysyvyyteen, adheesioon, sekä pinnoitteen mekaanisen rasituksen, sään ja kemikaalien kestävyys. Sideaineen tehtävä on sitoa ja levittää maalin pigmentit sekä kostuttaa ja siten tartuttaa maali alustansa. Sideaine muodostaa kovettuessaan yhtenäisen kalvon maalattavalle pinnalle. Kovettuminen voi tapahtua fysikaalisesti tai kemiallisesti. Fysikaalinen kovettuminen tapahtuu ilman kemiallista reaktiota esim. liuottimen haihtuessa, ja kemiallinen kovettuminen tapahtuu kemiallisen reaktion, kuten silloittumisen avulla. Tyypillisesti kertamuovit kovettuvat kemiallisesti ja kestopuovit fysikaalisesti. [9][13 s. 15][14, s. 1-19]

Pigmentit ovat pieniä värillisiä hiukkasia, joiden ensisijaisena tehtävänä on antaa maalattavalle pinnalle haluttu väri ja kiilto sekä peittää maalattava alusta. Maali eroaa lakasta siten, että lakassa ei käytetä pigmenttejä, eikä lakalla näin ollen ole peittokykyä. Pigmentit ovat maalissa liuenneena liuottimeen ja siten jakautuneet sideaineeseen tasaisesti. Pigmenttien toinen tärkeä tehtävä on suojata maalattua pintaa muun muassa mekaanisilta sekä sään ja kemikaalien aiheuttamilta rasituksilta. Pigmentit valitaan maalin käyttötarkoituksen mukaan. Yksi tärkeimmistä asioista maalin fysikaalisten, kemiallisten ja mekaanisten ominaisuuksien kannalta on pigmentti-tilavuussuhde (PVC, engl. Pigment Volume Concentration) kuivassa maalikalvossa.

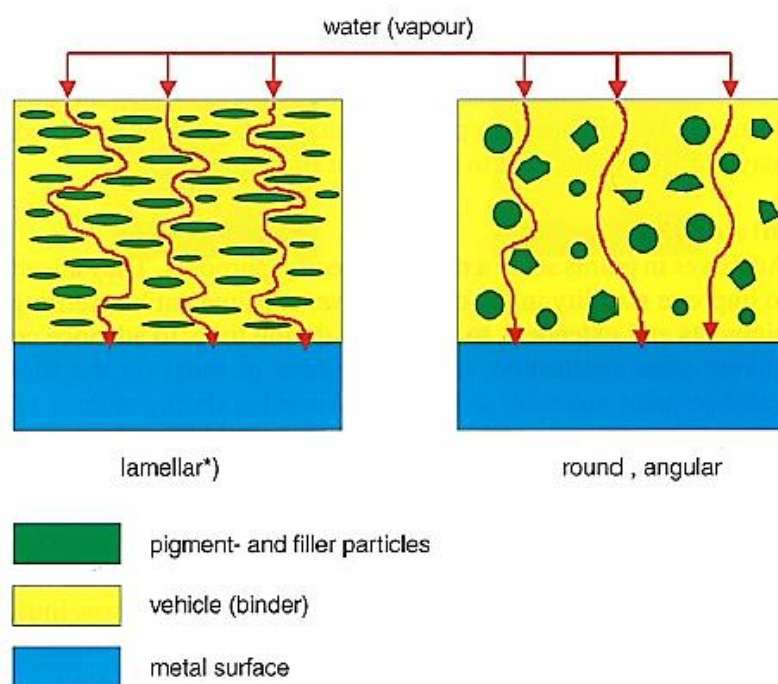
Pigmentit voidaan jaotella kolmeen pääryhmään:

- Valkoiset pigmentit, jotka voidaan edelleen jakaa peittäviin ja täytepigmentteihin.
- Värilliset pigmentit, jotka voidaan jakaa orgaanisiin ja epäorgaanisiin pigmentteihin
- Metallipigmentit

Epäorgaanisia pigmenttejä saadaan mineraaleista, ja orgaaniset pigmentit ovat tyypillisesti hiilivetyjen johdannaisia. Valkoiset pigmentit ovat useimmiten epäorgaanisia. Valkoiset täytepigmentit muuttuvat läpinäkyviksi sekoitutuessaan

sideaineeseen, jolloin niiltä häviää peittokyky. Niitä käytetään parantamaan tiettyjä pinnoiteominaisuuksia. Valkoiset peittävät pigmentit säilyttävät peittokykynsä sideaineessa. Niitä käytetään valkoisten maalien lisäksi värillisissä maaleissa erilaisten sävyjen aikaansaamiseksi. Tärkein valkoinen peittävä pigmentti on titaanioksidi  $\text{TiO}_2$ .

Tärkein metallinen pigmentti on alumiiniliuskepigmentti. Pintakäsitelty metallinen pigmentti orientoituu pinnan suuntaiseksi antaen pinnoitteelle metallinhoitoisen sävyn. Lisäksi liuskemainen pigmentti antaa paremman suojan pinnoitteen läpi diffundoituvaa kosteutta vastaan, kuten kuvassa 2.6 on havainnollistettu. Toinen yleinen liuskepigmentti on alumiinipigmentin tapaan käytetty kaliumalumiinisilikaatista valmistettava *mica*- eli kiillepigmentti. Yleensä liuskemaisia pigmenttejä käytetään yhdessä normaaleiden, pallomaisten pigmenttien kanssa. Liuskepigmenttejä voidaan sekoittaa myös kirkaslakkaan efektipinnan saamiseksi. [13, s. 54–71][15, s. 83–84][16, s. 280–281, 306–318]



**Kuva 2.6.** Kosteuden diffuusio pigmenttien läpi. Keltainen väri kuvaa sideainetta, vihreät ovat pigmentti- ja täyteainepartikkeleita ja sininen väri kuvaa metallisubstraattia. [15, s. 85]

Liutin eli ohenne on yksi maalin tärkeimpiä osia. Ohenteen tehtävä maalissa on liuottaa kiinteät sideaineet, pigmentit sekä lisä- ja täyteaineet. Lisäksi ohenteen määrän avulla voidaan säätää maalin viskositeettia halutunlaiseksi ja kostuttaa pintaa adheesion parantamiseksi. Uunissa ohenne haihtuu maalista korkean lämpötilan vaikutuksesta. Fysikaalisesti kovettuva maali kovettuu haihtumisen seurauksena. Ohenteena käytetään useimmiten vettä tai orgaanisia liuottimia. Erilaiset sideaineet liukenevat erilailla eri ohenteisiin. On tärkeää valita maalin komponentteihin sopiva ohenne, sillä jos käytetään

vääräntyyppistä ohennetta, maalituote saostuu ja maali pilaantuu käyttökelvottomaksi. Orgaaniset liuottimet ovat helposti syttyviä sekä haihtuvia, ja haihtuessaan saattavat olla ihmiselle vaarallisia joutuessaan hengitysteiden kautta elimistöön. Nykyään pyritään yhä enemmän käyttämään vesiohenteisia maaleja, mutta valtaosa coil coating -maaleista on edelleen liuotinohteisia. [13, s. 47][14, s. 1-22]

Apu- eli lisäaineet ovat pienissä määrin käytettyjä kemikaaleja, jotka parantavat maalituotteen ominaisuuksia. Jotkut lisäaineet, kuten kuivikkeet ja kalvon tasoittumiseen vaikuttavat aineet ovat tarpeellisia myös maalikalvon muodostumisessa. Muita lisäaineita ovat esimerkiksi säilöntä- ja homeenestoaineet, sakeuttamisaineet, vaahdonestoaineet, UV-absorptioaineet, korroosionestoaineet ja kosteudensitojat. [13, s. 72]

Maalattavuuteen vaikuttavat maalin *reologiset* ominaisuudet. Maalin reologialla tarkoitetaan sen muodonmuutos- ja juoksevuusominaisuuksia. Kaikki maalit ovat pseudoplastisia eli leikkausohenevia. Maalin levittymiseen vaikuttavia tekijöitä ovat viskositeetti ja pintajännitys. Viskositeetti ilmaisee nesteen kykyä vastustaa virtausta. Mitä korkeampi viskositeetti maalilla on, sitä vähemmän juoksevaa se on. Pintajännitys taas on levittymistä edistävä tekijä. Levittymistä voidaan parantaa nostamalla pintajännitystä tai laskemalla viskositeettia. Maalin viskositeettia voidaan alentaa ohentamalla sitä esimerkiksi veden tai liuottimien avulla. Viskositeetti alenee myös lämpötilan noustessa ja sideaineen pitoisuutta pienentämällä. Pintajännitykseen voidaan vaikuttaa maalin koostumuksella, kuten sideaineen molekyylipainolla, pigmenttien partikkelikoolle ja -muodolla, sekä liuottimien ominaisuuksilla ja pitoisuudella. Jos viskositeetti on liian alhainen, maalikalvosta tulee raitainen ja epätasainen. Maali saattaa valua ja pigmentit kerrostua. Liian korkealla viskositeetillä pinnasta tulee reikäinen ja ryppyinen. [9][13, s. 90–92]

### 3 METALLITUOTETEOLLISUUDEN MAALIPINNOITTEILTA VAADITTAVAT OMINAISUUDET

Tässä työssä metallituoteteollisuudella tarkoitetaan teollisuuden alaa, joka valmistaa pieniä, korkeintaan muutamien metrien kokoisia tuotteita metalliohutlevystä, ja erityisesti teräsohutlevystä. Esimerkiksi rakentamisessa käytettävät tuotteet, kuten katto- ja julkisivumateriaalit on rajattu pois. Näiden rajausten myötä voidaan katsoa, että metallituoteteollisuuden tuotteita valmistetaan pääasiassa sisäkäyttöön. Näin ollen tuotteissa käytettäviltä pinnoitteilta ei vaadita UV-säteilyn- eikä säänkestoa, vaan niiden ensisijainen tehtävä on suojata materiaalia valmistusvaiheessa ja käytössä aiheutuvilta rasituksilta sekä antaa tuotteelle haluttu ulkonäkö. Kuitenkin joissakin sovelluksissa, kuten pattereissa ja kemikaalikaapeissa, myös pinnoitteen lämmön-, kemikaalien- ja kosteudenkestävyydellä on merkitystä. Lisäksi joitain metallituoteteollisuuden tuotteita, kuten postilaatikoita ja taajuusmuuttajan koteloita käytetään myös ulkotiloissa.

Sisäkäyttöpinnoitteen tärkeimmät mekaaniset ominaisuudet ovat kulumis-, kuten naarmutus- ja hankauksenkestävyys sekä joustavuus, joka korostuu etenkin profilointivaiheessa. Näiden molempien maksimiarvoa on erittäin haastavaa saavuttaa samanaikaisesti, eli tyypillisesti ominaisuudet optimoidaan niin, että ne ovat riittävällä tasolla käyttökohteen tarpeeseen nähden. Käyttökohde tulee huomioida jo maalia valmistettaessa: pitää ymmärtää, miten raaka-aineet vaikuttavat mekaanisiin ominaisuuksiin.

Yleisesti voidaan olettaa, että maalipinnoitettua terästä käytetään sen ulkonäön vuoksi. Ulkonäköön liittyviä ominaisuuksia ovat pinnoitteen väri, kiiltoaste ja pinnan rakenne eli *struktuuri*. Lisäksi ulkonäköön voidaan vaikuttaa erilaisten efektien avulla. Varioimalla edellä mainittuja ominaisuuksia pinnoitteilla on mahdollista saada aikaan hyvin laaja valikoima erinäköisiä pintoja.

Tässä luvussa tutustutaan tarkemmin mekaanisiin, ulkonäkö- ja muihin metallituoteteollisuuden pinnoitteilta vaadittuihin ominaisuuksiin. Tarkoituksena on selvittää, mitä joustavuus ja kulutuskestävyys tarkoittavat, mihin ne vaikuttavat ja miten niitä voidaan parantaa. Lisäksi käydään läpi, mitkä tekijät vaikuttavat eri ulkonäköominaisuuksiin, kemikaalikestävyyteen, kosteudenkestävyyteen tai lämmönkestävyyteen.

### 3.1 Mekaaniset ominaisuudet

Pinnoitteiden mekaanisten ominaisuuksien ymmärtäminen alkaa siitä havainnosta, että maali on visko-elastinen materiaali. Visko-elastinen materiaali voi käyttäytyä sekä elastisesti että viskoosisesti. Elastinen muodonmuutos on palautuvaa eikä riipu lämpötilasta, kun taas viskoosinen muodonmuutos on hidasta, palautumatonta sekä aika- ja lämpöriippuvaista. Jos visko-elastisen materiaalin muodonmuutos on nopea tai tapahtuu matalassa lämpötilassa, käyttäytyminen on suurimmaksi osaksi elastista. Hitaalla muodonmuutoksella ja korkeilla lämpötiloilla käyttäytyminen on suurimmaksi osaksi viskoosista. Polymeerien mekaaniset ominaisuudet riippuvat myös lämpötilasta. Kaikilla polymeereillä on ominainen lasisiirtymälämpötila  $T_g$  (engl. glass transition temperature), jonka yläpuolella polymeeri on pehmeää ja joustavaa. Lisäksi amorfisilla polymeereillä on hauras-sitkeäsiirtymälämpötila  $T_b$  (engl. brittle-ductile transition temperature), jonka yläpuolella (kuitenkin  $T_g$ :n alapuolella) polymeeri on kovaa ja sitkeää ja alapuolella kovaa ja haurasta. Lasisiirtymälämpötila riippuu muun muassa silloittuneiden ketjujen välisten segmenttien rakenteesta, silloitustiheydestä ja ketjunpäiden määrästä. [17, s. 105–113]

Joustavuus on yksi tärkeimmistä pinnoitteen ominaisuuksista, sillä elinkaarensa aikana maalikalvoon voi kohdistua iskuja, venytystä ja taivutusta. Pinnoitteelta vaaditaan joustavuutta erityisesti muovattaessa maalipinnoitettua teräsohutlevyä, mutta myös käytössä, esimerkiksi silloin, kun ohutlevyyn kohdistuu isku muodostaen siihen painauman. Muovattavuus on materiaalin kyky kestää muovaus halutuksi kappaleeksi murtumatta. Jotta pinnoite kestää muovauksen, pinnoitteen murtovenymän tulee olla suurempi kuin venymä, joka aiheutuu rasituksesta. Murtuminen tapahtuu, kun substraatin venymä kasvaa suuremmaksi kuin maalipinnoitteen maksimivenymä. Tärkeimpiä maalipinnoitetun ohutlevyn muovaustyyppejä ovat erilaiset taivutukset ja syvävedot. Muovattavuus riippuu esimerkiksi pinnoitteen sideaineesta, kalvonpaksuudesta ja teräspaksuudesta. Lisäksi muovattavuuteen vaikuttavat polymeerin lasisiirtymälämpötila, muovauslämpötila sekä pinnoitteen ikä. [13, s. 109][18]

Muovipinnoitettujen teräsohutlevyjen muovattavuuteen vaikuttaa pinnoitteen ominaisuuksien lisäksi perusaineen, eli teräksen ja sinkin ominaisuudet. Muovattaessa pinnoitettua ohutlevyä substraatti toimii osittain kuormituksen vastaanottajana, jolloin pinnoitteelle ei jää niin paljon kuormaa. Toisaalta, koska teräs savuttaa plastisen muodonmuutoksen nopeammin kuin pinnoite, substraatti pitää pinnoitteen jännitettynä, vaikka pinnoite pyrkii relaxsoimaan jännityksen. Siinä vaiheessa adheesio on suuri. Adheesio tulee olla suurempi, kuin pinnoitteeseen varastoitunut energia (ESE, engl. elastic strain energy), joka pyrkii palauttamaan pinnoitteen muodonmuutoksesta. Jos adheesio on pienempi, maalikalvo irtaantuu, jolloin sen suojausominaisuus katoaa ja ulkonäkö tärveltyy. Jos pinnoitteella on hyvät adheesio-ominaisuudet, yleensä myös sen muovattavuus ja iskunkestävyys ovat erinomaiset. Pinnoitteen adheesio riippuu pitkälti



muovipinnoitusprosessista ja käytetystä maalista. Hyvän adheesion saavuttamiseksi pinnoitettava nauha tulee esikäsitellä huolellisesti ennen maalausta ja pinnoitteen kovetus tulee tapahtua oikeissa olosuhteissa. Adheesio voi myös heiketä ajan myötä. [4, s. 125][13, s. 109][17, s. 105–112]

Kestomuovit ovat joustavampia kuin kertamuovit. Kestumuoveille on tyypillisempää plastinen muodonmuutos, kun taas kertamuoveille elastinen muodonmuutos. Ero johtuu kertamuovien silloittuneesta kemiallisesta rakenteesta, mikä tekee kertamuovista hauraan. Kestomuovipinnoitettua levyä voidaan taivuttaa jopa 180° levypaksuuden suuruisella säteellä ilman näkyvää halkeilua pinnoitteessa. Kertamuovien tapauksessa adheesiolla on suurempi merkitys.

Muovipinnoitteet menettävät muovattavuuttaan lämpötilan laskiessa. Jos lämpötila laskee alle pinnoitteelle ilmoitetun lämpötilankestävyysarvon tai sille tyypillisen  $T_g$ -arvon, pinnoite voi alkaa halkeilla muovattaessa. Lämpötilan vaihtelut aiheuttavat substraatin laajenemista, kutistumista sekä muodonmuutoksia, mikä aiheuttaa maalikalvoon jännityksiä. Jos pinnoite ei ole riittävän joustava, se alkaa halkeilla rasitusten vaikutuksesta. [13, s. 110–111] Myös pinnoitteen kovettumisen viimeisillä hetkillä saattaa olla merkitystä muovattavuuteen. Sekä liuottimen haihtuminen että silloittuminen aiheuttavat kutistumista. Jos kutistuminen tapahtuu lähellä polymeerin  $T_g$ -arvoa, kutistumisessa syntyvä sisäinen jännitys voi kasvaa suureksi. [17, s. 105–112]

Pinnoitteiden joustavuutta tutkitaan yleisesti taivutuskokeilla ja Erichsenin kupinvetokokeella. Molempien kokeiden jälkeen suoritetaan adheesiotesti. Joustavuutta testataan myös nopeassa muovauksessa iskukokeella, jossa määritetään iskuenergia, jonka pinnoite kestää murtumatta. On huomioitava, että teräspaksuus vaikuttaa iskuenergiaan ratkaisevasti, joten pinnoitteita vertaillessa pitää käyttää samaa teräspaksuutta. Käytännön muovausolosuhteet antavat kuitenkin parhaan käsityksen eri substraatti-pinnoiteyhdistelmien soveltuvuudesta muovausprosesseihin, sillä muovattavuuden lisäksi tulokseen vaikuttavat myös pinnoitteen mekaanisen rasituksen kestävyys ja voiteluominaisuudet. [13, s. 109] Pinnoitteiden mekaanisten ominaisuuksien testausta varten voidaan tehdä myös niin sanottuja irtokalvoja, joille voidaan tehdä vetokokeita. [17, s. 120–121]

Polymeerin kemiallinen rakenne vaikuttaa pinnoitteen joustavuuteen monella tapaa. Kertamuovipinnoite on joustava, kun sillä on hyvä plastisuus ja sen verkkorakenne on väljä. Nämä reologiset ominaisuudet riippuvat pinnoitteen sideaineen ja silloittajan moolimassasta sekä lasisiirtymälämpötilasta. Mitä korkeampi moolimassa polymeerillä on, sitä suurempi on sen vetolujuus, iskulujuus sekä säröilynkestävyys. Esimerkiksi polyesteri-melamiinihartsin muovattavuutta parantaa silloittajan (melamiini) suhteellisen massan pieneneminen. Muovattavuus paranee, kun  $T_g$  pienenee. [19]

Syvävedossa pinnoitteeseen kohdistuu sekä venymistä, taivutusta että puristumista. Puristus aiheuttaa pinnoitteeseen nurjahduksesta (engl. buckling) johtuvia ryppyjä, kun ESE-arvo on suuri muovauksen jälkeen. Maalipinnoitteet, joilla on suuri venymä ja matala ESE-arvo muovaamisen jälkeen, soveltuvat hyvin syvävetoon. Muovattavuus on erinomainen, kun syväveto tapahtuu lämpötilassa, joka on  $T_g$ :n alapuolella, mutta  $T_b$ :n yläpuolella. Niissä olosuhteissa maalikalvoon muodostunut jännitys relaxoituu helposti ja lyhyessä ajassa, mutta muodonmuutos on suuri. Syvävedossa polymeerien verkkorakenne tuhoutuu, minkä jälkeen muovikalvon plastinen muodonmuutos tapahtuu helposti, eli muovattavuus on hyvä. Mitä suurempi plastisen muodonmuutoksen arvo on, sitä parempi on muovattavuus. [18][19]

Myös kalvonpaksuus vaikuttaa pinnoitteen muovauksenkestoon murtumatta. Ohuille kalvoille syväveto onnistuu helpommin. Toisaalta mitä ohuempi kalvo, sitä vähemmän pinnassa voi olla pigmenttejä, jolloin peittävyys heikkenee. Kun pigmentti-tilavuussuhde kasvatetaan kriittiseen pigmentti-tilavuussuhteeseen (CPVC), pinnoitteen vetolujuus kasvaa. Pigmentoinnista voi aiheutua myös virheitä, jotka johtavat pinnallisiin säröihin.

Pinnoitteet menettävät joustavuutta ajan myötä, kun pehmittiminä toimivat komponentit haihtuvat pois. Kertamuoveilla on havaittu kovettumista ajan kuluessa. Jos polymeeriä lämmitetään  $T_g$ :n yläpuolelle ja sitten jäädytetään nopeasti normaalin  $T_g$ :n alapuolelle,  $T_g$  on alhaisempi kuin hitaalla jäädyttämisellä. Nopea jäädyttäminen aiheuttaa suuremman vapaan tilan muodostumisen polymeerimatriisiin, jolloin molekyyleillä on enemmän tilaa liikkua. On huomattu, että jopa varastoinnin aikana, kun lämpötila on alhaisempi kuin polymeerin normaali  $T_g$ , molekyylit liikkuvat, jolloin vapaata tilaa on vähemmän. Tämä aiheuttaa polymeerin fysikaalisen vanhenemisen. Vapaan tilan väheneminen ja tiheyden kasvaminen aiheuttaa  $T_g$ :n kasvamisen, ja pinnoitteen rikkoutuminen muovauksen aikana on todennäköisempää. [17, s. 112–118]

Toinen merkittävä pinnoitteen rikkoutumisen aiheuttaja on kulutus. Pinnoitteen kulutuskestävyyttä ilmaisevat pinnoitteen kovuus, naarmuuntumisherkkyys sekä mahdolliset kuormituksen aiheuttamat visuaaliset muutokset. Termi kulutus (engl. abrasion) kuvaa materiaalin kulumista pois. Naarmuuntuminen taas on enemmän paikallista kulumista. Englanninkielessä naarmuuntumisenkestävyydelle on kaksi sanaa: Mar resistance ja scratch resistance. Viimeiseksi mainittu viittaa pinnoitteen rikkoutumiseen, kun taas mar resistance tarkoittaa, että pintaan jää jälki, mutta pinnoite ei rikkoudu. Maalikalvon kovuus ilmaisee, miten kalvo pystyy vastustamaan siihen kohdistuvaa muodonmuutosta. Voidaan sanoa, että kalvon kulutuskestävyys paranee kovuuden kasvaessa, mutta käytännössä yhtälö ei ole niin yksinkertainen. Esimerkiksi kumia on paljon vaikeampi naarmuttaa kuin terästä, vaikka teräs on kovempaa. Peruseriaate kuitenkin on, että jos pinta on kovempi kuin esine, jolla pintaa kulutetaan, naarmuja ei synny, mutta muovipinnoitteet tyypillisesti ovat pehmeämpiä kuin naarmutusväline. Pinnoitteen kalvonpaksuus vaikuttaa kulutuskestävyyteen. Mitä

ohuempi kalvonpaksuus pinnoitteella on, sitä kovempaa se on. Toisaalta naarmuuntumiskestävyys kasvaa kalvonpaksuuden kasvaessa. [13, s. 110–111][17, s. 118–120, 127]

On arveltu, että kulutuskestävyys on verrannollinen materiaalin *work-to-break* -arvoon, eli työhön joka tehdään materiaalin murtumiseksi. Work-to-break-arvon lisäksi esimerkiksi pinnoitteen kitkakerroin saattaa olla merkittävä tekijä kulutuskestävyydessä. Joissain tapauksissa lisäämällä maaliin vahaa tai fluorattuja pinta-aktiivisia aineita pinnoitteet kestävät paremmin kulutusta esimerkiksi kuljetuksen aikana. Kun kaksi pinnoitettua pintaa hankaavat toisiaan vasten, lisäaineiden avulla alennettu pintajännitys alentaa kitkakerrointa. Pintojen välinen leikkausvoima on pienempi, ja näin ollen kulutusta tapahtuu vähemmän.

Kulutuskestävyyteen voidaan vaikuttaa myös lisäämällä maaliin erilaisia lisäainepigmenttejä. Esimerkiksi, kun pinnoitetaan silmälasien linsejä silikonipinnoitteella, lisäämällä partikkelikooltaan pieniä  $\text{SiO}_2$ -hiukkasia silikonin pintajännitys pienenee. Osuessaan kuluttavaan pintaan pigmentit vähentävät kontaktipintaa, jolloin linssit liukuvat helpommin kuluttavan pinnan päällä. Pinnoitteen kulutuskestävyyttä voidaan kasvattaa lisäämällä pehmeitä kumi-pigmenttejä. Partikkelit vähentävät pinnan jännityksiä, jolloin ei voi muodostua jännityskasaumaa, joka johtaisi pinnoitteen rikkoutumiseen.

Polyuretaanipinnoitteilla on todettu olevan erinomainen kulutuskestävyys. Se voi johtua siitä, että polyuretaanin rakenteessa on sekä kovalenttisia sidoksia että vetysidoksia. Kun jännityksiä ei ole tai ne ovat pieniä, vetysidokset toimivat kuten silloittuneet sidokset, mutta suurempien jännitysten alla vetysidokset hajoavat, jolloin molekyyileillä on tilaa levittyä rikkomatta kovalenttisia sidoksia. Kun jännitys poistuu, molekyylit relaksoituvat ja uudet vetysidokset muodostuvat. [17, s. 118–120]

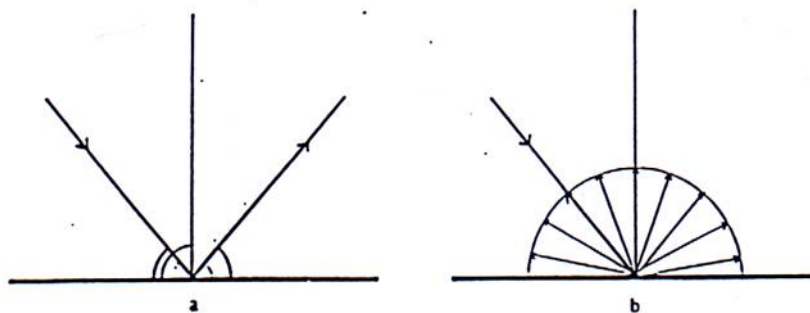
Pinnoitteen kulutuskestävyys on erityisen tärkeä ominaisuus tuotteen loppukäyttäjälle, mutta myös valmistusprosessin eri vaiheissa (esimerkiksi muovaus tai kuljetus) pinnoitteen vaurioituminen on riski. Maalipinnoitetun ohutlevyn päälle voidaan laminoida suojakalvo prosessin aikaisten naarmujen ja hankausjälkien ehkäisemiseksi. Suojakalvo toimii ikään kuin voiteluaineena. Sen pintaenergia on alhainen, jolloin se luistaa hyvin. [12, s. 13]

Pinnoitteen kovuutta voidaan mitata lyijykynäkokeella tai kovuusmittauslaitteistolla, joka perustuu heilurin liikkeen vaimenemiseen. Teoriassa kestopuuvien kovuus on lyijykynätestissä 4B-F ja kertamuovien F-5H. Pinnoitteen kovuuteen rinnastettavissa olevaa naarmuuntumisherkkyyttä voidaan yksinkertaisimmillaan testata naarmuttamalla pinnoitetta kynällä tai kolikolla. [13, s. 110–111]

### 3.2 Ulkonäköominaisuudet

Ulkonäköominaisuudet ovat mekaanisten ominaisuuksien ohella tärkeimpiä pinnoiteominaisuuksia. Käytännössä maalipinnoitettua teräsohutlevyä käyttävä yritys valitsee sen ensisijaisesti ulkonäön vuoksi, sillä pinnoitteen suojausominaisuudet saadaan aikaan myös ilman muovipinnoitetta. Erityisesti ulkonäön merkitys korostuu sisäkäyttötuotteisiin tarkoitetuissa maalipinnoitteissa, sillä mekaanisia ominaisuuksia lukuun ottamatta muut ominaisuudet ovat vähemmän merkittäviä. Ulkonäköön vaikuttavia ominaisuuksia ovat kiilto, väri ja pinnan struktuuri. Lisäksi ulkonäköön voidaan vaikuttaa lisäämällä pinnoitusaineisiin erilaisia efektejä aikaansaavia pigmenttejä.

Kiilto määritellään pinnoitteen ominaisuutena heijastaa valoa. Kiiltotyyppejä on erilaisia: heijastuskiilto (engl. specular gloss), hohde (engl. luster) ja utu (engl. haze). Tyypillisesti pinnoitteiden kiilto määritetään heijastuskiiltona. Heijastuskiilto on mitattavan kappaleen heijastuksen valovuon suhde täydellisesti heijastavan kappaleen valovuohon. Kun valonsäde kohtaa pinnan, osa siitä heijastuu pois ja osa imeytyy alustaan tai kulkeutuu sen läpi. Pinnan kiillon määrää se, miten heijastuva säde jakautuu eri suuntiin. Suurikiiltainen pinta heijastaa paljon valoa takaisin peilimäisesti, eli heijastuskulma on yhtä suuri kuin valon tulokulma. Säteen heijastumista on havainnollistettu kuvassa 3.1.



**Kuva 3.1.** Valon säteen jakautuminen pinnassa. Kuva a) täyskiiltävä pinta ja kuva b) täyshimmeä pinta. [20]

Kiilto ei ole suoraan verrannollinen pinnasta heijastuvaan valoon, vaan takaisin heijastuvan valon määrä kasvaa, kun tulokulma kasvaa. Jos heijastuman kontrasti on suuri, kiillon sanotaan olevan suuri. Jos pinta on karhea, valonsäde osuu pinnan eri kohtiin eri kulmassa, jolloin säde hajoaa ja heijastuu pinnan kaikkiin suuntiin. Näin ollen detektoriin saapuva valomäärä on pienempi, jolloin kiillon sanotaan olevan pienempi. Eri kiiltoalueet on määritelty kuvassa 3.2. [4, s. 123][16, s. 296–297][20]

Kiiltoalue (°)	Kiilto	Nimelliskiillon toleranssit
≤ 10	matta	± 3
> 10 ≤ 20	matalakiiltainen	± 4
> 20 ≤ 40	satiini	± 6
> 40 ≤ 60	puolikiiltävä	± 8
> 60 ≤ 80	kiiltävä	± 10
> 80	erittäin kiiltävä	vähintään 80

**Kuva 3.2.** Kiiltoalueiden määrittäminen [4, s. 124]

Matta pinta voidaan saavuttaa eri tavoin. Pinnoitetta voidaan tarkoituksella naarmuttaa, jotta saadaan aikaan karhea pinta. Jos PVC-arvo on kuivakalvossa riittävän suuri, pinta karhenee, kun pigmentit nousevat pinnoitteesta ylös pintaan. Myös pigmenttipartikkelien flokkuloituminen sekä pinnoitteen sktrukturoituminen aiheuttavat kiillon madaltumista. [4, s. 123][16, s. 297]

Kiillon suuruuteen vaikuttaa eniten pigmentointi, erityisesti PVC-arvo. Mitä enemmän PVC-arvo nousee, sitä enemmän pigmenttipartikkeleita on pinnassa. Kun pinnoite kutistuu liuottimien haihtuessa, partikkelit aiheuttavat epäsäännöllisen, ja näin ollen himmeän pinnan. Korkeakiiltoisissa pinnoitteissa ylimmässä mikrometrissä ei ole juuri lainkaan pigmenttejä. Pigmenttien puute johtuu seoskomponenttien liikkeistä pinnoitteesta, kun liuotin haihtuu. Liuottimen haihtuessa maalin viskositeetti kasvaa hetkellisesti, jolloin suuremmat pigmenttipartikkelit liikkuvat hitaammin, kun taas sideainemolekyylit jatkavat liikkumistaan ja syrjäyttävät pigmenttipartikkelit pinnoitteen yläpinnasta.

Valo on sähkömagneettista säteilyä, joka näkyy väreinä, kun se kohtaa väliaineen. Tällöin valo osittain heijastuu ja osittain absorboituu siihen. Väriaistimus riippuu siitä, minkä aallonpituuden valonsäteet heijastuvat tai absorboituvat ja millä intensiteetillä. Värisävy riippuu ennen kaikkea pigmenteistä, mutta myös sideaineen värillä on merkitystä. Lisäksi erilaiset valonlähteet saavat saman värin näyttämään hieman erilaiselta, sillä eri valonlähteiden spektrijakaumat ovat erilaisia. Maalikalvosta heijastunut valon spektri on pigmenttien ja valonlähteen spektrien yhteisvaikutus. Väriin vaikuttaa pigmenttien lisäksi pinnanlaatu. Jos pinta on sileä, se näyttää kiiltävältä, kun taas epätasainen pinta näyttää mattamaiselta, kuten edellä todettiin.

Värin tehtävä on peittää maalattava alusta sekä antaa pinnoitteelle haluttu ulkonäkö. Värin ominaisuus on peittokyky, joka ilmaistaan µm:ssä. Peittävyys saavutetaan, kun värikalvon paksuus on suurempi kuin ilmoitettu peittokyvyn suuruus. Lakalla ei ole peittokykyä. Näin ollen, jos alusta halutaan jättää näkyviin, käytetään päällimmäisenä kerroksena kirkaslakkaa. [21]

Väri määritellään väriavaruuden pisteen koordinaatteina. Koordinaatit riippuvat havaitsijasta, valonlähteestä sekä valaistus- ja tarkastelugeometriasta. Väriero on kahden värin välinen havaittu tai mitattu voimakkuus-, suuntaisuus- tai säteilyero. Väriavaruuden käsittelyn helpottamiseksi ja havainnollistamiseksi on luotu erilaisia värijärjestelmiä, joilla pyritään järjestämään väriavaruutta loogisesti. [12, s. 14]

CIE-järjestelmä on tällä hetkellä Euroopan yleisemmin käytetty värijärjestelmä. Järjestelmässä on pyritty siihen, että eri värien koordinaatit vastaisivat mahdollisimman hyvin silmillä havaittavaa värieroa. CIE  $L^*a^*b^*$ -avaruutta kuvataan muuttujien  $L^*$ ,  $a^*$  ja  $b^*$  avulla, missä  $L^*$  kuvaa mustavalkoista värijakaumaa,  $a^*$  kuvaa punaisuutta ja vihreyttä, ja  $b^*$  kuvaa keltaisuutta ja sinisyyttä. Kahden värin kokonaispoikkeavuutta toisistaan ilmaisee  $DE^*$ -arvo, joka lasketaan edellä mainittujen muuttujien neliöarvojen neliöjuuren avulla. Väriavaruus on kuvattuna kuvassa 3.3. [22]



**Kuva 3.3.** CIE-järjestelmän mukainen väriavaruus. [22]

Muovipinnoitteen struktuuri on pinnoitteeseen tarkoituksella tehty topografia. Ulkonäön elävöittämisen lisäksi strukturoinnilla voidaan lisätä pinnoitteen kulutuskestävyyttä, ja joissakin tapauksissa myös muovattavuutta ja UV-säteilynkestävyyttä. Struktuuri voidaan muodostaa kahdella tavalla: maaliin sekoitettavien partikkelien avulla tai kemiallisella strukturoinnilla. Partikkelistrukturoinnissa maalin sideaineen joukkoon voidaan lisätä esimerkiksi polyamidi- tai polypropeenipartikkeleita. Partikkeleiden koolla ja määrällä voidaan vaikuttaa, millainen struktuuri syntyy. [12, s. 14][14]

Kemiallinen struktuuri syntyy samalla, kun maali kovettuu. Kemiallisen struktuurin muodostamiselle on monta tapaa, ja eri tavoilla tuotettu pinnan kuviointi on hieman erinäköinen. Kuitenkin menetelmiä yhdistää se, että niissä vaikuttavat aineet olivat monifunktionaalisia ja runsaasti silloittuvia. [23]

Pinnoitteen rypyttyminen tapahtuu, kun viskositeetti kalvon yläosassa kasvaa suureksi, ja kalvon alaosassa pinnoite virtaa edelleen. Tällainen tilanne voi olla silloin, kun kalvon pinta silloittuu nopeammin kuin kalvon alaosa. Toinen vaihtoehto on, että kalvon pinnassa tapahtuu äkillinen liuottimen haihtuminen. Epätasainen liuottimien haihtuminen tai silloittuminen aiheuttaa kutistumista kalvon alaosaan, mikä pakottaa pinnan rypyttymään. Rypyttyminen tapahtuu sitä helpommin, mitä paksumpi maalikalvo on. Ohuessa kalvossa ei voi syntyä kovin suuria eroja kalvon ylä- ja alaosan välille. Myös UV-säteilyn avulla voidaan synnyttää ryppy-pinnoite. [17, s. 99–100]

Struktuurinen pinta on usein toivottu esimerkiksi huonekalujen ja elektroniikkalaitteiden pinnoitteissa. Käyttökohteesta ja käyttäjästä riippuen struktuurilta toivotaan erisuuruista amplitudia, aallonpituutta ja kuviointia. Sen vuoksi struktuurin muodostumista onkin tutkittu ja kehitetty paljon. [23] Struktuuri voidaan muodostaa myös esimerkiksi vahapartikkelien, jotka hajoavat lämpötilan vaikutuksesta pienemmiksi kalvoon sulautuviksi partikkeleiksi, tai pintajännitystä säättävän apuaineen avulla. [24]

Koristeelliset pinnoitteet ovat sellaisia pinnoitteita, joiden ulkonäkö antaa niille erityistä lisäarvoa. Koristeellisia pintoja voidaan käyttää esimerkiksi julkisten rakennusten kontrastisina yksityiskohtina. Koristeellisia efektejä saadaan aikaan esimerkiksi mica-pigmenteillä, jotka aikaansaavat pinnoitteeseen helmiäiseffektin sekä alumiinipigmenteillä, jotka aikaansaavat metalliefektin. Erivärisillä mica-pigmenteillä voidaan tehdä pinnoitteeseen kameleonttiefekti, jolloin pinnoitteen väri muuttuu katselukulmasta riippuen.

### 3.3 Muut ominaisuudet

Mekaanisten ja ulkonäköominaisuuksien lisäksi muita tärkeitä pinnoiteominaisuuksia ovat lämmönkestävyys, kemikaalikestävyys, kosteudenkestävyys ja UV-säteilynkestävyys. Lämmönkestävyys on tärkeä ominaisuus erityisesti lämmityslaitteisiin, kuten pattereihin tarkoitetuissa pinnoitteissa. Kemikaalikestävyys tulee tarpeeseen esimerkiksi laboratorio-olosuhteissa käytettävissä maalipinnoitetuissa huonekaluissa. Pinnoitteen tulee olla kosteudenkestävä tuotteissa, jotka sijoitetaan kylpyhuoneisiin, ulkokatoksiin tai muihin kosteisiin olosuhteisiin. UV-säteilynkestävyyttä tarvitaan pinnoitteissa, joita käytetään ulos sijoitettavien tuotteiden, kuten postilaatikoiden valmistusmateriaalissa.

Korkea lämpötila aiheuttaa mekaanisten ominaisuuksien heikkenemistä sekä muutoksia pinnoitteen ulkonäössä – pääasiassa värissä ja kiillossa. Värien muutokset johtuvat pinnoitteesta olevista pigmenteistä. Joidenkin valkoisten pigmenttien on todettu kellastuvan lämmön vaikutuksesta. Ongelma on suuri esimerkiksi pattereilla, jotka ovat lähes poikkeuksetta valkoisia. Myös esimerkiksi rautaoksidikeltapigmentin on havaittu muuttuvan kemiallisesti lämpötilan kohotessa. Jotkut pigmentit sublimoituvat korkeissa

lämpötiloissa. Lämpöä kestäviä pigmenttejä ovat alumiinipigmentit, sinkkipulveri, titaanioksidi, hiilenmusta ja kromioksidinvihreä. Korkea lämpötila voi aiheuttaa pinnoitteiden muovattavuuden ja adheesion heikkenemistä, pehmenemistä tai toisinaan myös kovettumista ja haurastumista. Muutokset pinnoitteen kovuudessa altistavat ne mekaanisen rasituksen aiheuttamille vaurioille. Lisäksi pehmenneen pinnoitteen pintaan tarttuu helposti likaa. Pinnoitteen lämmönkestävyys riippuu pinnoitetyypistä sekä muista pinnoitteeseen kohdistuvista ulkoisista rasituksista, kuten UV-säteilystä ja kemikaalirasituksesta. [12, s. 16][13, s. 114–115][14, s. 3-37][16, s. 311]

Ruukilla tehdyssä tutkimuksessa vertailtiin valkoisten coil coating -maalien ja pulverimaalin muutoksia korkeiden lämpötilojen vaikutuksesta. Tutkimuksessa havaittiin, että suurin osa coil coating -pinnoitteista kellastui ja menetti kiiltoaan korotetussa lämpötilassa, kun taas pulverimaalin värinpysymä oli erittäin hyvä ja kiillon pysymä samaa luokkaa kuin parhaiten pärjänneillä coil coating -maaleilla. Pulverimaalatun näytteen mekaaniset ominaisuudet paranivat korkealle lämpötilalle altistamisen jälkeen, kun taas coil coating -pinnoitteiden mekaaniset ominaisuudet huononivat. Siitä huolimatta pulverimaalin mekaaniset ominaisuudet eivät olleet lämmityksen jälkeenkään edes samaa tasoa kuin coil coating -maaleilla. Paras lämmönkestävyys mekaanisten ominaisuuksien säilymisen suhteen oli polyuretaanipohjaisilla maaleilla. [25]

Myös matalat lämpötilat aiheuttavat rasituksia maalipinnalle. Esimerkiksi varastoinnin aikana pinnoite saattaa altistua kosteuden ja pakkasen yhteisvaikutukselle, mikä aiheuttaa pinnoitteen mekaanisten ominaisuuksien, etenkin muovattavuuden heikkenemistä. Lisäksi lämpötilojen suuret vaihtelut rasittavat maalipinnoitteita ja aiheuttavat niiden halkeilua. [12, s. 16][13, s. 114–115]

Kemikaaleja, joille maalipinnoitteet saattavat altistua ovat erilaiset emäksiset liuokset, orgaaniset hapot, voiteluaineet, orgaaniset liuottimet, bensiini ja muut polttoaineet, etanoli ja pesuaineet. Pinnoitteiden kemikaalikestävyys on pinnoitteesta ja kemikaalista riippuen kohtuullisen hyvä. Laimeita happoja ja emäksiä pinnoitteet kestävät tyypillisesti hyvin huoneenlämmössä. Voiteluaineita pinnoitteet kestävät hyvin lyhyellä aikavälillä, mutta pitkäaikaisrasituksessa pinnoitteet pehmenevät ja niiden väri voi muuttua. Orgaanisia liuottimia, kuten estereitä, eettereitä ja ketoneita muovipinnoitteet kestävät huonosti. Polttoaineet ja etanoli saattavat imeytyä pinnoitteeseen, jolloin kuivuessaan pinnoite alkaa halkeilla. Kestomuoveilla puhdistus- ja liuotinaineiden kestävyys on tyypillisesti heikompi kuin kertamuoveilla. Parhaiten kemikaaleja kestävät PVDF- ja epoksinpinnoitteet. [12, s. 16][13, s. 113]

Säänkestävyys on vaikeasti tutkittava ominaisuus, sillä siihen vaikuttavat monet seikat. Pinnoitteen ominaisuuksien lisäksi substraatilla ja sen esikäsittelyllä on oma merkityksensä säänkestävyydessä. Säänkestävyyteen liittyy esimerkiksi UV-säteilyn- ja



kosteudenkestävyys. Säänkestävyys paranee esimerkiksi polymeerin moolinmassan kasvaessa.

Kosteudenkestävyyttä tarvitaan pinnoitteilta, joita käytetään kosteissa olosuhteissa, kuten ulkona tai kylpytiloissa. Vesimolekyylit ovat pieniä, minkä vuoksi ne voivat helposti diffundoitua pinnoitteeseen. Jos vesi pääsee diffundoitumaan pinnoitteeseen, se voi aiheuttaa pinnoitteen kuplimista ja adheesion heikkenemistä. Jos vesi saavuttaa metallikerroksen, se voi aiheuttaa metallin korrodoitumisen. Kosteudenkestävyyttä voidaan parantaa primerin ja esikäsitteilyn avulla. Lisäksi korroosiota voidaan estää esimerkiksi korroosionestopigmenteillä. [13, s. 107]

Yksi pigmenttien tehtävistä on absorboida UV-säteilyä. UV-säteilyn vaikutuksesta pinnoitteen väri haalistuu riippuen käytetystä sideaineesta ja värisävystä, ja kiilto madaltuu pintaeroosion vuoksi. Lisäksi pinnoite saattaa liituuntua, jolloin maalin pintaosat muuttuvat jauhemaisiksi pigmenttien irtautuessa kalvosta. [12, s. 16][13, s. 115–117]

### **3.4 Muovipinnoitetun ohutlevyn käsittely ja muovaus**

Muovipinnoitettua ohutlevyä muovataan eri tavoin riippuen käyttökohteesta. Kaikessa käsittelyssä on otettava huomioon tiettyjä erityispiirteitä, jotka liittyvät siihen, että metallinen ohutlevy on etukäteen pinnoitettu muovipinnoitteella. Tämän työn kokeellisessa osassa suoritetaan koeprofilointi, jossa levyä käsitellään eri tavoin. Tässä luvussa tutustutaan teräsohutlevyn tyypillisimpiin käsittely- ja muovausmenetelmiin.

Teräsohutlevyn tyypillisiä käsittelyvaiheita ovat siirtely ja kuljettaminen, varastointi, leikkaaminen, muovaus sekä liittäminen. Siirtelyssä, kuljettamisessa ja varastoinnissa on tärkeintä huomioida materiaalin suojaaminen sekä lämpötila. Maalipinnoitetun ohutlevyn optimaalinen varastointilämpötila on yli 10 °C. Kylmemmässä lämpötilassa varastoituna pinnoite vanhenee, ja sen joustavuus heikkenee. Ennen muovausta on huolehdittava kylmässä varastoidun materiaalin lämmittämisestä huoneenlämpöiseksi, jotta pinnoite ei vaurioidu muovauksessa. Myös aika vanhentaa terästä ja pinnoitetta. Muovipinnoitettua terästä tulisi säilyttää varastossa korkeintaan yhden vuoden ajan. [17, s. 105–112][12, s. 18–19]

Kelat tulee varastoida pystyasentoon tai esimerkiksi puisen alustan päälle. Painava kela ja epätasainen alusta voivat aiheuttaa pinnoitteeseen painaumuksia tai painokuvioinnin häipymistä. Samasta syystä arkkeja ei saa kasata liian montaa päällekkäin. Kelat ja arkit tulee suojata kosteudelta ja naarmuuntumiselta sekä kuljetuksen että varastoinnin ajaksi. Suojauksessa voidaan käyttää materiaalina esimerkiksi muovivia tai muovitettua paperia. Nauhakelojen siirtely tehdään tyypillisesti nosturin avulla. Tällöin nostopuomien on hyvä olla pyöristettyjä, ja nostoköydet tai -liinat pitää suojata pehmusteilla. Yksittäisten

arkkien siirtelemisessä voidaan käyttää apuna esimerkiksi kumisia imukuppeja ehkäisemään naarmuuntumista. Tällöin pitää varoa pitkien levyjen taittumista, minkä vuoksi tartuntakohtia tulee olla tarpeeksi monta. Levyjen siirtelyyn työkoneelta toiselle voidaan käyttää myös liukuhihnoja. [12, s. 18–19]

Ohutlevyn leikkaamiseen tarkoitettuja työkaluja on useita, ja eri leikkausmenetelmien välillä periaatteellisia eroja. Peruseriaatteena leikkaamisessa on, että leikatessa pinnoitepuoli on päällimmäisenä. Näin ollen leikkausjäyste jää levyn takapuolelle ja naarmuuntumisen riski on pienempi. Kuitenkin leikkausreuna aiheuttaa pinnoitteen venymistä, mikä on ongelma etenkin paksuilla pinnoitteilla. Leikkausjäysteen suuruuteen voidaan vaikuttaa säätämällä oikeanlainen välys leikkausterien välille (ohutlevyteräksillä tyypillisesti noin 5 % teräspaksuudesta) sekä käyttämällä mahdollisimman teräviä leikkausteriä. Leikkaamisessa tulee aina ottaa huomioon materiaalin taloudellinen käyttö. Etenkin leikattaessa erilaisia muotoja kannattaa materiaalin käytön suunnitteluun panostaa.

Levyleikkuria käytetään suorareunaisen ohutlevyn leikkaamiseen haluttuun mittaan. Leikkausparametrien määrittämisessä ei tarvitse ottaa huomioon pinnoitteen paksuutta, sillä parametrit ovat samat kuin pinnoittamattomalla levyllä. Levyleikkuri soveltuu sekä yksittäis- että sarjatuotantoon. Laitteita on saatavilla käsi- tai sähkötoimisena ja CNC-ohjattuna. Meistolla ja lävistyksellä voidaan tehdä erilaisia muotoja teräsohutlevyyn. Molemmissa menetelmissä on pistin, joka iskee vasten levyä ja levyn alla olevaa tyynyä. Lävistyksellä käytettävään teräslevyyn tehdään reikiä tai muita muotoja, kun taas meistossa käyttöön tulee levystä irrotettava osa. Levytyökeskuksessa levyille voidaan tehdä sekä suorareunaisia leikkauksia että lävistyksiä. Teräsohutlevyarkkia liikutetaan suurella nopeudella, ja myös kiihtyvyydet ovat suuria. Levytyökeskuksessa taustapinnoitteen naarmuuntuminen on riski. [7, s. 22][12, s. 19–20]

Muita leikkaustyökaluja ovat esimerkiksi laikkaleikkuri, nakertaja, pyörösaha ja pistosaha. Näillä työkaluilla voidaan leikata myös kuvioita. Laikkaleikkauksessa ongelmana on leikkauksessa irtoava kuuma teräspöly, joka tarttuu pinnoitteeseen ja ruostuu ajan myötä. Sen vuoksi laikkaleikkausta ei suositella muovipinnoitetulle teräkselle, vaan nakertaja, pyörösaha tai pistosaha sopivat paremmin siihen tarkoitukseen. Myös laserleikkausta voidaan hyödyntää niissä tapauksissa, joissa teräspaksuus ja pinnoitepaksuus ovat pieniä. Kun teräspaksuus kasvaa, leikkausnopeus pienenee, jolloin pinnoitteeseen syntyy vaurioita. Laserleikkauksen yhteydessä on huolehdittava ilmanvaihdosta, sillä maalipinnoitteen palaessa voi muodostua vaarallisia kaasuja. Ohutlevyjä voidaan myös porata ohutlevyporilla. [12, s. 19–20]

Maalipinnoitettua ohutlevyä voidaan muovata samoilla työkaluilla kuin pinnoittamatonta terästä, mutta toisinaan työkaluja ja menetelmiä muokataan maalikalvon vaurioitumisen

estämiseksi. Maalikalvo toimii muovauksessa voiteluaineena, jolloin yleensä erillisiä voiteluaineita ei tarvitse käyttää. Kuitenkin vaativimmissa muovausmenetelmissä lisävoitelu on joskus tarpeen. Tällöin voiteluaineen soveltuvuuteen muovipinnoitteelle tulee kiinnittää erityistä huomiota. Yleisimmin vesiliukoiset voiteluaineet ovat suositeltavia. Voiteluaine tulee poistaa pinnoitteesta mahdollisimman pian muovauksen jälkeen, sillä siinä olevat kemikaalit voivat vahingoittaa maalipintaa. Työkaluissa ja levyissä pinnoitteen päällä voidaan käyttää suojaavia muovikalvoja pinnoitteen vaurioitumisen ehkäisemiseksi.

Yleisimpiä muovausmenetelmiä ovat taivutus, rullamuovaus ja syväveto. Taivutuksessa ulkopinnalla oleva pinnoite venyy samalla ohentuen, kun taas sisäpinnalla oleva pinnoite puristuu, mikä voi aiheuttaa rypyttymistä. Pinnoitteen vaurioitumista voidaan välttää riittävän pienellä muovausnopeudella sekä työkalujen suojaamisella. Ohutlevyjä voidaan taivuttaa esimerkiksi kanttikoneella tai särmäyspuristimella. Koneet voivat olla sähkökäyttöisiä tai käsikäyttöisiä. Rullamuovauksessa levy kuljetetaan useiden rullaparien läpi, jotka vaihe vaiheelta muovaavat levyyn halutun profiilin. Rullamuovaustulokseen vaikuttavat muun muassa muovausnopeus ja -voima, muovausrullien kunto sekä muovipinnoitteen kovuus. Liian voimakkaat yksittäiset taivutukset aiheuttavat pinnoitteen hankautumista ja tarttumista muovausrulliin. Rullamuovausta käytetään esimerkiksi kattoprofiilin muovaamiseen. Syväveto on edellisiä muovausmenetelmiä vaativampi, sillä syvävedon aikana pinnoitteeseen kohdistuu samanaikaisesti sekä venytystä, taivutusta että puristusta jännitystilan vaihdella suuresti. Myös syvävedossa muovausnopeuteen on kiinnitettävä huomiota, jottei muovauksessa ylitetä pinnoitteen korkeinta käyttölämpötilaa. Syvävetoa käytetään esimerkiksi juomatölkkien valmistuksessa. [7, s. 21][12, s. 20–22][17, s. 112]

Muovipinnoitettua teräsohutlevyä voidaan liittää mekaanisesti, liimaamalla ja joissakin tapauksissa hitsaamalla. Mekaanisia liittämistapoja ovat erilaiset muotoliitokset, kiinnikeliitokset ja listaliitokset. Muotoliitokselle on ominaista, että liittäminen saadaan aikaan ilman erillisiä liittimiä, minkä vuoksi muotoliitos on edullinen ratkaisu. Muotoliitoksia ovat esimerkiksi taitos-, kieleke- ja puristusliitokset. Kiinnikeliitoksia käytetään yleensä vain silloin, kun muotoliitoksia ei jostain syystä voida käyttää. Tyypillisimpiä kiinnikkeitä ovat ruuvit ja nitit. Käytettäessä metallisia kiinnikkeitä on huomioitava galvaanisen korroosion mahdollisuus, jos liitettyjä kappaleita käytetään kosteissa olosuhteissa. Listaliitoksessa kappaleet liitetään yhteen viivamaisesti levyihin tehtyjen muotojen sekä erimuotoisten listojen avulla. Listat voivat olla metallisia, muovisia tai puisia. [12, s. 23–35]

Liimaamalla liittämisessä on paljon etuja, mutta myös rajoituksia. Etuja ovat esimerkiksi jatkuva ja tiivis liitos, liitoksen hyvä väsymislujuus sekä siisti ulkonäkö. Toisaalta liimausprosessi on pitkä, sillä se vaatii pintojen huolellisen esikäsitteilyn sekä pitkän

kovettumisajan. Jotkut liimatyypit ovat myös terveydelle haitallisia. Liimaliitoksen lujuuteen vaikuttaa liiman koheesio sekä liimattavien kappaleiden pinnoitteen adheesio perusaineeseen. Liimaliitoksen pysyvyyteen taas vaikuttavat oikeanlaisen liiman valinta liitettäville materiaaleille sekä liitettävien pintojen puhdistus ja esikäsitteily. Liimaa käytetään usein myös yhdistelmäliitoksissa, jossa liimaus on yhdistetty johonkin toiseen liittämismenetelmään. [12, s. 39][26]

Hitsaaminen on terminen, tyypillisesti metallien liittämismenetelmä. Muovipinnoitetun ohutlevyn hitsaus ei ole yksinkertaista, sillä muovi toimii metallin päällä eristeenä. Lisäksi palava muovi aiheuttaa työturvallisuusriskin, epäpuhtaan hitsisauman sekä pilaa kappaleen ulkonäön. Hitsausta helpottaa, jos levy on hitsattavasta kohdasta pinnoittamaton tai pinnoitusaineena on käytetty tarkoitukseen kehitettyjä, hitsauksen kestäviä maaleja tai lakkoja. Jotkut hitsauksen kestävät maalit parantavat hitsattavuutta jopa paremmaksi kuin maalaamattomalla teräksellä. Hitsaus pyritään tekemään niin, että sauma jää piiloon kappaleen takapuolelle, tai se voidaan korjausmaalata jälkikäteen.

Muovipinnoitetulle ohutlevylle soveltuvia hitsausmenetelmiä ovat muun muassa pistehitsaus sekä MIG-, TIG- ja laserhitsaus. Kaikissa menetelmissä on omat rajoituksensa. Pistehitsaus on vastushitsausmenetelmä, jota voidaan soveltaa jopa molemmiin puolin pinnoitetulle ohutlevylle. Vastushitsaus suoraan muovipinnoitteen läpi ei ole mahdollisista pinnoitteen eristysominaisuuksien vuoksi, mutta apuna voidaan käyttää teräksestä valmistettua litistetyä U:n muotoista ”hattua”. Hattu toimii aluksi hitsausvirran kulkureittinä, jolloin siihen induktoituva lämpö polttaa pinnoitteen elektrodin kohdalta, ja virta pääsee kulkemaan normaalisti. Sulahitsausmenetelmiä (MIG, TIG, laser) voidaan käyttää vastaavasti laipoitettujen saumojen hitsaukseen. Lisäksi laserhitsausmenetelmällä voidaan tehdä limiliitoksia ja lävistäviä hitsauksia. Lävistävässä hitsauksessa ohuempi teräspaksuus ja pinnoitteen kalvonpaksuus helpottaa hitsausta ja vähentää pinnoitteen näkyvien vaurioiden syntyä. [12, s. 39–43][27]

## 4 METALLITUOTETEOLLISUUTEEN SOVELTUVIEN PINNOITTEIDEN TARJONTA

Maalipinnoitteet voidaan jaotella niiden käyttökohteen mukaan. Maalipinnoitteita valmistetaan sekä sisä- että ulkokäyttöön. Sisäkäytössä pinnoitteelta vaaditaan vähemmän kuin ulkokäytössä, sillä sisällä pinnoite ei altistu ulkoisen ympäristön vaikutuksille, kuten UV-säteilylle, saasteille, kosteudelle, suurille lämpötilavaihteluille, pohjoisessa lumelle tai merialueiden lähellä suolaiselle meri-ilmastolle.

Sisäkäyttötuotteet ovat jaoteltavissa kodinkonemarkkinoiden mukaan kahteen kategoriaan: white goods ja brown goods. White goods -teollisuus valmistaa suuria kodinkoneita, kuten jääkaappeja, pakastimia, pesukoneita ja uuneja. [28] Tuotteita valmistetaan massatuotannolla ja mahdollisimman kustannustehokkaasti, ja kilpailu toimialalla on kovaa. Ruukilla on tehty tietoinen päätös, ettei white goods -teollisuuteen lähdetä, sillä kilpaileminen alalla veisi hyvin suuren osan tuotantokapasiteetista. Lisäksi white goods -teollisuuden asiakkaat vaativat räätälöityjä ratkaisuja ja tilaavat suuria määriä, joten äkillinen toimittajan vaihtuminen vaikuttaa tuotantoon merkittävästi. [29]

Tässä työssä tutkitaan brown goods -pinnoitemarkkinoita. Brown goods -tuotteet ovat kooltaan pieniä kodinkoneita ja elektroniikkalaitteita, kuten pattereita, ilmastointilaitteita, kannettavia tietokoneita ja televisioita. [30] Brown goods -tuotteet sopivat Ruukin tuotantoon paremmin, sillä tuotantokapasiteetilta ei vaadita niin paljon. Koska brown goods -tuotteita on useita erilaisia usealta eri valmistajalta, brown goods -tuotteiden pinnoitteiden valmistaminen ei ole yhtä asiakasriippuvaista Ruukille kuin white goods -tuotteiden pinnoitteiden.

Ruukin eri pinnoitteissa käytettäviä maaleja ei valmisteta Ruukilla, vaan ne tilataan maalintoimittajilta. Tässä työtä varten tehtiin yhteistyötä useiden eri maalintoimittajien kanssa, kuten The Valspar Corporation, Beckers Industrial Coating ja Korean Chemical Company. Tässä luvussa selvitetään edellä mainittujen sekä muutamien muiden coil coating -maalien toimittajien tarjontaa lähinnä brown goods -pinnoitteiden osalta. Kaikki yritykset eivät kuitenkaan jaottele tuotteitaan tiukasti white goods ja brown goods -pinnoitteisiin, minkä vuoksi osa esitellyistä pinnoitteista on tarkoitettu white goods -tuotteisiin.

Tähän tutkimukseen otettiin mukaan sekä Ruukin nykyisiä toimittajia että muita coil coating -maaleja valmistavia yrityksiä. Sisäkäyttötuotteisiin soveltuvien pinnoitteiden valikoimaa tutkittiin yritysten internet-sivujen kautta. Lisäksi Ruukin viimeaikaisiin yhteistyökumppaneihin otettiin yhteyttä, ja heitä pyydettiin lähettämään kooste

markkinoilla olevista tai vielä kehitysvaiheessa olevista pinnoitteista, jotka vastaisivat yhtä tai useampaa seuraavista määritelmistä:

- Joustavat pinnoitteet (*Flex*), joissa muovattavuus on optimoitu. Nämä pinnoitteet soveltuvat esimerkiksi ilmanvaihtokomponenteille ja muille tiukkaa muovausta vaativille komponenteille.
- Kulutuskestävät pinnoitteet (*Robust*), joissa naarmun, hankauksen ja muun kulutuksen kesto on optimoitu. Tällaisia ovat esimerkiksi hyllyihin, kaappeihin ja muihin huonekaluihin soveltuvat pinnoitteet.
- Lämpöä kestävät pinnoitteet (*Hot*), joiden ulkonäkö tai mekaaniset ominaisuudet eivät muutu korkeissakaan ( $> 150^{\circ}\text{C}$ ) lämpötiloissa. Näitä pinnoitteita voidaan käyttää esimerkiksi pattereissa.
- Koristeelliset pinnat (*Deco*), joissa jokin piirre ulkonäössä (värien määrä, kiiltoaste, pinnan kuviointi) tuo pinnoitteelle lisäarvoa, kuitenkin tinkimättä mekaanisista ominaisuuksista. Esimerkkejä koristeellisista pinnoitteista ovat metalli- tai mica-pigmentoidut pinnoitteet ja kuultolakat.

Ruukin käyttämät maalipinnoitteet luokitellaan kolmeen eri laatuluokkaan niiden ominaisuuksien perusteella. Standard-luokan pinnoitteissa mekaaniset, sään- ja korroosionkesto-ominaisuudet ovat perustasoa. Special-luokan pinnoitteissa ominaisuudet ovat standarditasoa paremmat, mutta hieman heikommät ja takuu-aika lyhempi kuin premium-luokassa. Premium-luokan pinnoitteet ovat erikoispinnoitteita, joiden ominaisuudet ovat erityisen hyvät ja pinnoitteelle määritelty takuu-aika pisin. [10] Tässä työssä pyritään löytämään pinnoitteita, joilla olisi yksi tai useampi yllämainituista erityispiirteistä, ja jotka voitaisiin luokitella premium-luokkaan. Toissijaisena tavoitteena on löytää standard-luokan pinnoitteita, jotka erityispiirteidensä lisäksi olisivat kustannustehokkaita.

Tässä luvussa käydään läpi Ruukin nykyiset sisäkohteisiin soveltuvat pinnoiteratkaisut sekä käsitellään muutamia pinnoitteita, joita Ruukilla on aiemmin tutkittu tai ollut käytössä. Lisäksi käydään läpi maalinvalmistajilta saatua ja internet-sivuilta poimittua tietoa markkinoilla olevista sisäkäyttöpinoitteista. Koska kaikki maalinvalmistajien tuotteet eivät ole markkinoilla, ne ovat nimetty siten, että niistä käyvät ilmi valmistaja, sekä erityisominaisuus, jonka valmistaja maalilleen lupaa.

#### 4.1 Ruukilla käytössä olevat maalipinnoitteet

Maalit luokitellaan usein niiden sideaineen perusteella, sillä sideaineella on suurin merkitys pinnoitteen ominaisuuksien kannalta. Ruukilla on käytössä tällä hetkellä neljä eri sideainetta: polyesteri, polyuretaani, polyvinyyliideenifluoridi ja epoksi.

Sisäkäyttötutouteisiin soveltuvien pinnoitteiden sideaineena käytetään pääasiassa polyesteriä.

*Polyesteri* on diolien tai triolien ja dikarboksylihappojen polykondensaatioreaktiolla muodostuva kertamuovi. Polyesteripinnoitteen etu on sen monipuolisuus: Sen naarmunkestävyys ja muovattavuus ovat hyviä, ja sille voidaan saavuttaa hyvät sään-, korroosion-, lämmön- ja UV-säteilynkestävyysominaisuudet. Polyesteripinnoitteesta voidaan tehdä sekä hyvin korkea- että matalakiiltoista, niin sanottua mattapintaa, jossa pinta on strukturoitu. Polyesterituotteiden väriskaala on hyvin laaja. Polyesteri on eniten käytetty sideaine coil coating -teollisuudessa. [6, s. 76–77][12, s. 11][31]

Ruukilla valmistetaan polyesteripinnoitteita sekä sisä- että ulkokäyttöön. Ulko-olosuhteita varten polyesteripinnoitteen säänkesto-ominaisuuksia on parannettava lisäaineiden avulla, jolloin mekaaniset ominaisuudet kärsivät. Ulkokäyttöön tarkoitetut polyesteripinnoitteet ovat edullisia standard-luokan pinnoitteita, joita käytetään esimerkiksi kattojen ja julkisivujen pinnoitteena. Sisäkäyttöön Ruukin valikoimasta löytyy standard-tason eri kiiltoasteisten polyesteripinnoitteiden lisäksi myös erikoispinnoitteita.

Ruukin *ARS-polyesteri* (Abrasion Resistant System) on sisäkäyttöön suunniteltu premium-luokan pinnoite, joka on kehitetty erityisesti kestäämään kulutusta. Maalissa on polyamidipartikkeleita, jotka ehkäisevät naarmujen syntyä. *Struktuuripolyesteri* on myös kulutusta kestävä pinnoite. Siinä on sileän, värilliseksi pigmentoidun pohjamaalin päällä kirkaslakka, joka strukturoituu uunissa korkean lämpötilan vaikutuksesta käynnistyvien kemiallisten reaktioiden myötä. Molemmat pinnoitteet kestävät muovausta paremmin kuin tavallinen polyesteripinnoite. [10][31][32]

*Polyuretaani* on kertamuovi, jota muodostuu, kun polymeroidaan isosyanaatteja moniarvoisten alkoholien kanssa. Yksi polyuretaanin valmistustapa on di-isosyanaatin ja diolin askelpolymeraatio. Ruukin polyuretaanipinnoitteen nimi on *Pural*. Puralin säänkesto-ominaisuudet ovat hyvin korkeatasoiset, sillä polyuretaanin korroosion- ja UV-säteilynkesto ovat erinomaiset, minkä vuoksi Pural-pinnoitteita käytetään pääasiassa ulkokäyttötutouteissa. Normaalikiiltainen Pural ja matalakiiltainen Pural matta ovat premium-luokan kattopinnoitteita. Lisäksi Puralin pohjalta on kehitetty erittäin joustava Pural RWS -pinnoite, joka soveltuu erityisesti sadevesijärjestelmiin.

Pural on yksi mekaanisesti joustavimmista Ruukin pinnoitteista. Sisäkäyttösovelluksissa, joissa erityinen joustavuus ja kulutuskestävyys ovat tarpeen, käytetään Pural-pinnoitetta. Polyuretaanipinnoitteen ominaisuuksien vuoksi Puralia voidaan käyttää myös kosteuden- ja kemikaalienkestoa vaativissa olosuhteissa. Pural- ja Pural RWS -pinnoitteissa on polyamidipartikkeleita (PA12), jotka muodostavat struktuuripinnan. Myös Pural matassa

pinta on strukturoitu, mutta struktuuri on luotu kemiallisesti. [12, s. 10][31][33, s. 373–374]

*Purex* on ARS-polyesterin tavoin partikkelien avulla strukturoitu, matalakiiltainen pinnoite. Purexissa käytetään polyesterisideaineen silloittajana melamiinin lisäksi isosyanaattia, mikä parantaa sideaineen joustavuutta. Purex kuuluu kattopinnoitteiden puolella special-luokkaan, mutta sitä käytetään myös sisäkäyttötuohteissa, jotka vaativat erityistä naarmuuntumiskestävyyttä. [29][32]

*Polyvinyylideenifluoridi* on kestopuovi, jota valmistetaan vinyylideenifluoridista emulsiopolymerisaatiolla. PVDF-pinnoitteen muovauksen-, sään- ja naarmunkesto-ominaisuudet ovat erinomaiset, se on helposti puhdistettava ja säilyttää hyvin visuaaliset ominaisuutensa ulko-olosuhteissa. Ruukin PVDF-pinnoitteiden kauppanimi on *Hiarc*. Erinomaisten ominaisuuksiensa vuoksi *Hiarc*-pinnoitteita käytetään pääasiassa ulkokäyttötuohteissa, kuten julkisivupaneeleissa ja erilaisissa profiileissa. *Hiarc* ja matalakiiltainen *Hiarc* matta ovat julkisivuissa premium-luokan pinnoitteita. Sisäkäyttötuohteissa *Hiarc*-pinnoite on harvinainen, sillä sen ominaisuuksia ei juuri tarvita sisäolosuhteissa. Tästä huolimatta Ruukilla on valikoimassa yksi sisäkäyttösovelluksiin kehitetty PVDF-pinnoite, jota käytetään kun tuotteen valmistuksessa tehtävät muovaukset ovat hyvin vaativia ja lopullisessa käytössä tuotteen tulee säilyttää ulkonäkönsä myös kosteissa olosuhteissa. [6, s. 74–75][12, s. 11][16, s. 59][31]

*Epoksihartsia* muodostuu esimerkiksi bisfenoli-A:n ja epikloorihydriinin reagoidessa keskenään emäksisissä olosuhteissa. Epoksihartsi kovetetaan kertamuoviksi erilaisten kovettimien avulla. Kovettimen valinnalla voidaan vaikuttaa epoksin ominaisuuksiin. Epoksin hyviä ominaisuuksia ovat sen erinomaiset adheesio-ominaisuudet sekä kemikaalien, liuottimien, veden ja lämmönkestävyys. Toisaalta epoksi liuntuu ja menettää kiiltoaan helposti, minkä vuoksi se ei sovi ulkokäyttösovelluksiin. Ruukilla epoksimaaleja käytetään pohja- ja taustamaaleina. [6, s. 75–76][12, s. 12]

## 4.2 The Valspar Corporation

The Valspar Corporation, tässä työssä Valspar (VC), on maailman kuudenneksi suurin maaleja ja pinnoitteita valmistava yritys. Valsparin pääkonttori sijaitsee Minneapolisissa, USA:ssa. Coil coating -maalien lisäksi Valspar valmistaa erilaisia teollisia jälkimaalaukseen tarkoitettuja maaleja yksityis- ja ammattilaiskäyttöön muun muassa auto-, rakennus- ja pakkausteollisuuteen. [34]

Valsparin tuotevalikoimasta löytyi seuraavat sisäkäyttötuohteissa käytetyt pinnoitteet:

- VC Robust 1
- VC Robust/Deco



- VC Deco 1
- VC Robust 2
- VC Robust 3
- VC Deco 2
- VC Flex
- VC HVAC

Tässä luvussa esitetään valmistajan kuvauksia näistä pinnoitteista.

*VC Robust 1* on polyesteripohjainen kulutusta ja naarmuuntumista kestävä pinnoite kodinkoneisiin. Pinnoitteen muita hyviä ominaisuuksia ovat kemikaalienkestävyys ja joustavuus. Sileän pintansa ja korkean kiiltonsä vuoksi se on likaa hylkivä ja helposti puhdistettava. Pinnoite soveltuu hyvin esimerkiksi jääkaappien oviin, tiskikoneiden ja kuivausrumpujen kuoriin sekä kylmiöiden seiniin. Pinnoitetta on saatavilla eri kiiltoasteisina, eri väreissä, sävytettyinä lakkoina ja efektipigmentoituina. Pinnoitteeseen on saatavilla myös AFP-ominaisuus (Anti Finger Print). Erilaisia modifiointeja pinnoitteesta ovat esimerkiksi *VC Robust/Deco*, jossa maaliin on sekoitettu alumiinipigmenttejä, sekä *VC Deco 1* – sävytetty lakka, joka on tarkoitettu maalata suoraan substraatin päälle. Lakkaan on lisätty peittämätöntä väriainetta, jolloin lakkakerroksen alta paistaa substraatin, esimerkiksi sinkin kuviointi. [35][36]

*VC Robust 2*, *VC Robust 3* ja *VC Deco 2* ovat polyesteripohjaisia strukturoituja pinnoitteita. Struktuurinsa vuoksi ne kestävät kulutusta ja naarmuuntumista. Pinnoitteiden ominaisuudet ovat helposti muokattavissa, joten ne räätälöidään usein kullekin asiakkaalle sopivaksi. Pinnoitteita käytetään pääasiassa kodinkoneiden kuoriin. *VC Robust 2* on kaksikerroksinen pinnoite, jossa värillisen pohjamaalin päällä on väritön, korkeakiiltainen kirkaslakka. Lämmön vaikutuksesta lakka strukturoituu, jolloin pinnoite saa valon kohdatessaan kristallimaisen säihkeen. *VC Robust 2* -pinnoitetta käytetään myös ulkokäyttöön soveltuviin tuotteisiin, kuten asuntovaunujen seiniin. Myös *VC Deco 2* on kaksikerroksinen pinnoite. Siinä yksivärisen pohjamaalin päälle levitetään metallipigmentoitu lakka, joka strukturoituu lämmön vaikutuksesta. Lakka antaa pinnoitteelle metallinhohtoisen efektin, jolloin pinnoite näyttää kaksiväriseltä. Lakkaa on saatavissa myös kuparin- ja kullanvärisenä sekä erikokoisilla struktuureilla. *VC Robust 3* -pinnoitteessa struktuurin muodostavat maaliin sekoitetut partikkelit. [36]

Polyesteripohjainen *VC Flex* on joustava ja muovausta kestävä pinnoite. *VC Flex* hylkii likaa ja helposti puhdistettava, minkä vuoksi se sopii hyvin käytettäväksi elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa oleviin tuotteisiin. Tyypillisesti *VC Flex* -pinnoitetta käytetään jääkaappien ovissa, kylmiöissä, pesukoneissa ja kuivausrummuissa. Pinnoitetta on saatavissa useissa eri väreissä ja myös mica- ja metallipigmentoituina.

*VC HVAC* -pinnoite on kaksikerroksinen polyesterimaali, jonka erityisominaisuuksia ovat korroosionkesto sekä muovattavuus, minkä vuoksi se soveltuu hyvin lämmitys- ja ilmastointilaitteiden pinnoitteeksi. Pinnoite on saatavilla eri väreissä, eri kiiltoasteilla sekä erilaisilla struktuureilla. [35]

### 4.3 Korean Chemical Company

Korean Chemical Company, tässä työssä KCC, on eteläkorealainen maaleja ja rakennusmateriaaleja valmistava yritys. KCC:n pääkonttori sijaitsee Soulissa, Etelä-Koreassa. KCC valmistaa maaleja coil coating -pinnoitteiden lisäksi muun muassa auto-, meri-, elektroniikka- ja kosmetiikkateollisuuteen. Muita KCC:n tuotteita ovat esimerkiksi katto- ja lattiamateriaalit, eristeet sekä muut rakennusmateriaalit. [37]

KCC:n tuotevalikoimasta löytyi seuraavat työssä toivottuja kriteereitä vastaavat pinnoitteet:

- KCC Robust 1
- KCC Deco 1
- KCC Hot 1
- KCC Hot 2
- KCC Robust 2
- KCC Robust 3
- KCC Flex
- KCC Deco 2

Tässä luvussa esitetään valmistajan kuvaukset näistä pinnoitteista.

*KCC Robust 1* on kaksikerroksinen polyesteripohjainen pinnoite, jota käytetään televisioiden, DVD-soittimien ja muiden audiolaitteiden koteloiden pinnoitukseen. Pinnoitteen erityispiirteinä on sen kulutuskestävyys. Pinnoite soveltuu käytettäväksi myös yksikerroksisena, jolloin sen pinnoitus- ja raaka-ainekustannukset ovat normaalia kaksikerroksista pinnoitetta alhaisemmat. Pinnoitetta on saatavilla eri kiiltoasteisina. [38]

*KCC Deco 1* on PVDF-pohjainen kolmikerroksinen pinnoite. Primeroidun substraatin päälle levitetään yksivärinen pohjamaali sekä helmiäispigmentoitu kirkaslakka, joka vaihtaa väriä katselukulmasta riippuen. Värien vaihtelu on havaittavissa parhaiten auringonvalossa, minkä vuoksi pinnoitetta käytetäänkin vain ulkokäyttöön soveltuvissa tuotteissa. Kuitenkin metallituoteteollisuudessa valmistetaan tuotteita myös ulkokäyttöön (esimerkiksi postilaatikot), minkä vuoksi pinnoite otettiin tutkimukseen mukaan. [38]

*KCC Hot 1* ja *KCC Hot 2* ovat molemmat kehitetty sovelluksiin, jossa pinnoitteen tulee kestää korkeita lämpötiloja. Tällaisia sovelluksia ovat esimerkiksi lämpöpatterit ja muut lämmityslaitteet. Molempien pinnoitteiden värin- ja kiillonmuutokset kuumennuksen

jälkeen ovat vähäiset verrattuna tavanomaisiin polyesteripinnoitteisiin. KCC Hot 1 -pinnoitteen etuna on lämmönkestävyyden lisäksi joustavuus. Molemmissa pinnoitteissa sideaineena on polyesteri. [39]

*KCC Robust 2* ja *KCC Robust 3* -pinnoitteet ovat polyesteripohjaisia pinnoitteita sisäkäyttösovelluksiin. KCC Robust 2 -pinnoitteella on erityisominaisuutena hyvä kulutuksenkestävyys ja KCC Robust 3 -pinnoitteella kovuus ja naarmuuntumisen kestävyys. Molempien pinnoitteiden kulutuskestävyys ja kovuus ovat paremmat kuin tavanomaisilla polyesteripinnoitteilla. Polyesteripohjaisen *KCC Flex* -pinnoitteen erityispiirre on sen joustavuus, jonka saa aikaan polyesterihartsin korkea moolimassa. Verrattuna tavanomaisiin polyesterimaaleihin pinnoitteen taivutuskestävyys on parempi.

*KCC Deco 2* on sävytetty kirkaslakka, joka applikoidaan suoraan sinkityn teräksen päälle. Lämmön vaikutuksesta pinnoite kutistuu, mikä aiheuttaa struktuurin muodostumisen. Lakassa olevat pigmentit saavat aikaan metallinhohtoefektin struktuuripinnalle. Pinnoitteen etuja ovat sen ulkonäön ja joustavuuden lisäksi ohut kalvonpaksuus ja yksikerroksisuus, minkä vuoksi pinnoitus- ja raaka-ainekustannukset ovat matalat. Sideaineena lakassa on käytetty polyesteriä. [39]

#### 4.4 Beckers Industrial Coating

Beckers Industrial Coating, tässä työssä Beckers (lyhenne BIC), on yksi Euroopan johtavista coil coating -maalien valmistajista. Coil coating -pinnoitteiden lisäksi Beckers valmistaa teollisuuspinnoitteita esimerkiksi maatalous-, rakennus-, ja maansiirtoajoneuvoihin. Beckersin pääkonttori sijaitsee Berliinissä, Saksassa. [40]

Beckersin tuotevalikoimasta löytyy seuraavia sisäkäyttösovelluksiin tarkoitettuja pinnoitteita:

- BIC Flex 1
- BIC Flex 2
- BIC Flex/Robust
- BIC Robust 1
- BIC Robust 2
- BIC Deco 1
- BIC Deco 2
- BIC Deco 3
- BIC Deco 4
- BIC Deco 5
- BIC Deco 6

Tässä luvussa esitetään valmistajan kuvaukset näistä pinnoitteista.

*BIC Flex 1* ja *2* -pinnoitteet ovat tarkoitettu sovelluksiin, joissa on tarvetta erityiselle joustavuudelle ja muovattavuudelle. *BIC Flex 1* -pinnoitteessa on polyesteripohjamaalin päällä polyuretaanipohjainen pintamaali. Pintamaali on sama kuin Ruukin Pural RWS -pinnoitteessa, mutta ilman PA-partikkeleita, minkä vuoksi pinta on sileä. *BIC Flex 2* -pinnoitesysteemin molemmat maalit ovat polyesteripohjaisia. [41]

*BIC Flex/Robust* -pinnoitteessa on struktuurin muodostava pohjamaali sekä sileä pintamaali. Molemmat maalit ovat polyesteripohjaisia. Pinnoitetta voidaan käyttää sovelluksissa, joissa vaaditaan sekä joustavuutta että kulutuksenkestoa. Myös *BIC Robust 1* ja *2* -pinnoitteet ovat polyesteripohjaisia, ja ne soveltuvat erityisesti kulutuksen kestoa vaativiin käyttökohteisiin. Niissä värillisen pohjamaalin päällä on lämmön vaikutuksesta rypyttyvä kirkaslakka.

Kaikki yllä mainitut *BIC Deco* -pinnoitteet koostuvat kahdesta maalikerroksesta. Värillisen pohjamaalin päällä on kirkaslakka, joka rypyttyy lämmön vaikutuksesta. *Deco 1, 2, 3* ja *5* -pinnoitteessa koristeellisen efektin aiheuttavat kirkaslakkaan sekoitetut värikkäät mica-pigmentit. *Deco 4* -pinnoitteen kimalle-efekti saavutetaan lakkaan sekoitettujen alumiini-liuskepartikkeleiden avulla. Kaikkien pinnoitesysteemien maalit ovat polyesteripohjaisia. *Deco 6* -pinnoite on matalakiiltainen. [41]

## 4.5 Muut maalinvalmistajat

Tässä luvussa esitellään lyhyesti muita suuria coil coating -maaleja valmistavia yrityksiä, joiden valikoimasta löytyy sisäkäyttötuotteisiin soveltuvia pinnoitteita. Näitä yrityksiä ovat BASF Corporate, Akzo Nobel Industrial Finishes, PPG Industries, Dura Coat Products ja KelCoatings.

BASF Corporate, tässä työssä BASF, on saksalainen kemikaalialan yritys. Coil coating -maalien valmistamisen ohella BASF on erikoistunut maalien raaka-aineiden, kuten pigmenttien, lisäaineiden ja silloittajien valmistamiseen. Kysyttäessä BASF:n edustajalta, tämä mainitsi kaksi pinnoitesysteemiä, jotka sopivat tämän työn tavoitteisiin. Toinen pinnoitteista, *BASF Flex/Robust 1*, on kaksikerroksinen, jossa alla on joustava pohjamaali ja päällä kova kirkaslakka. Toinen pinnoite, *BASF Flex/Robust 2*, on kolmikerroksinen, jossa joustavan maalin päällä on naarmuuntumista ehkäisevä, korkeakiiltainen kirkaslakka ja alla pohjamaali, joka lisää pinnoitteen korroosionkestävyyttä. Molemmat pinnoitteet on kehitetty autoteollisuuden sovelluksista elektroniikkateollisuuden tarpeisiin. [42]

Akzo Nobel Industrial Finishes on eurooppalainen maalintoimittaja, jonka pääkonttori sijaitsee Hollannissa. PPG Industries on kansainvälinen, Pittsburghissa USA:ssa perustettu yritys, joka maalien lisäksi valmistaa muun muassa lasia ja lasikuitua. Dura

Coat Products on USA:ssa perustettu, kansainvälisesti toimiva kemikaalialan yritys, joka valmistaa coil coating -maalien ohella ekstruusio- ja putkipinnoitteita. KelCoatings on kanadalainen maalintoimittaja, joka toimii lähinnä Pohjois-Amerikan markkinoilla. Kaikilla edellä mainituilla yrityksillä on tarjolla tämän työn rajauksiin sopivia pinnoitteita sisäkäyttösovelluksiin. [43][44][45][46] Valitettavasti kaikkien näiden maalinvalmistajien kanssa ei resurssien puutteen vuoksi voitu tämän työn puitteissa tehdä yhteistyötä, vaan valittiin yhteistyökumppaneiksi Valspar, KCC, Beckers ja BASF, joiden kanssa on Ruukilla tehty yhteistyötä ennenkin.

## 4.6 Tarjonnan yhteenveto

Taulukossa 4.1 on listattuna kaikki luvuissa 4.1–4.5 esitellyt pinnoitteet jaoteltuina luokkiin Robust, Flex, Deco ja muu. Viimeinen kategoria on pinnoitteille, joita ei tässä työssä voida omassa kategoriassaan vertailla näytteiden suppean tarjonnan vuoksi (KCC Hot -pinnoitteet), tai jotka ovat kehitetty jotain muuta kuin tässä työssä haettuja käyttötarkoituksia varten (VC HVAC).

**Taulukko 4.1.** Yhteenveto sisäkäyttöpinnoitetarjonnasta.

Flex	Robust	Deco	Muu
VC Flex	VC Robust 1	VC Deco 1	VC HVAC
KCC Flex	VC Robust/Deco	VC Robust/Deco	KCC Hot 1
BIC Flex 1	VC Robust 2	VC Deco 2	KCC Hot 2
BIC Flex 2	VC Robust 3	KCC Deco 1	
BIC Flex/Robust	KCC Robust 1	KCC Deco 2	
BASF Flex/Robust 1	KCC Robust 2	BIC Deco 1	
BASF Flex/Robust 2	KCC Robust 3	BIC Deco 2	
Pural	BIC Robust 1	BIC Deco 3	
Purex	BIC Robust 2	BIC Deco 4	
Hiarc	BIC Flex/Robust	BIC Deco 5	
	BASF Flex/Robust 1	BIC Deco 6	
	BASF Flex/Robust 2		
	Pural		
	Purex		
	ARS-polyesteri		
	Struktuuripolyesteri		
	Hiarc		

Ruukin pinnoitteista Purex, Pural ja Hiarc ovat sekä joustavia että kulutusta kestäviä pinnoitteita, minkä vuoksi niitä voi vertailla sekä Flex- että Robust-kategorioissa olevien pinnoitteiden kanssa. ARS-polyesteri ja struktuuripolyesteri ovat kehitetty erityisesti kulutuksenkestoa vaativiin sisäkäyttökohteisiin, joten niitä voidaan vertailla Robust-kategorian tuotteiden kanssa.

Varsinaisia Deco-pinnoitteita ei Ruukin valikoimasta tällä hetkellä löydy. Ruukin tiettyjä polyesteri- ja Hiarc-pinnoitteita, joissa on alumiinipigmenttien avulla luotu metallinhohtoeffekti, voidaan käyttää myös koristeellisina pintoina, mutta kyseisiä pinnoitteita ei otettu tähän tutkimukseen mukaan.

Lämmönkestäviä pinnoitteita ei löytynyt useampaa kuin kaksi, ja nekin molemmat samalta toimittajalta. Tämän vuoksi niiden tarkempi analysointi päätettiin jättää tämän työn rajauksen ulkopuolelle. Tutkimuksessa selvisi, että joillakin maalinvalmistajilla oli lämmönkestäviä pinnoitteita parhaillaan kehitystyön alla, mutta hyvä lämmönkestävyys on haastavaa saavuttaa. HVAC-pinnoitteet, eli ilmastointi- ja lämmityslaitteisiin soveltuvat korroosiota kestävät pinnoitteet eivät olleet tässä työssä kiinnostuksen kohteena.

#### **4.7 Ruukilla testattuja tai valmistettuja pinnoitteita**

Ruukilla on vuosien saatossa tutkittu ja käytetty lukuisia erilaisia maalipinnoitteita, joiden valmistus on lopetettu, tai niitä ei ole koskaan otettu mukaan valikoimaan. Tässä luvussa tutustutaan 2000-luvun puolella kehitettyihin pinnoitteisiin.

Vuosina 2008–2009 haluttiin laajentaa ja monipuolistaa sisäkäyttöpinoitevalikoimaa. Päädyttiin tutkimaan kahta erilaista kirkaslakkapinnoitetta. Molempia pinnoitteita testattiin ja koemaalattiin maalipinnoituslinjalla, mutta kumpikaan pinnoite ei päätnyt tuoteportfolioon. Ensimmäinen pinnoitteista oli Valsparin toimittama polyuretaanipohjainen väritön kirkaslakka, johon oli sekoitettu värillisiä polyamidipartikkeleita. Tarkoituksena oli käyttää lakkaa värillisen pohjamaalin päällä, jolloin eri pohjamaaleja ja erisävyisiä polyamidipartikkeleita sisältäviä kirkaslakkoja yhdistelemällä saataisiin laaja kirjo monivärisiä pinnoitteita. Pinnoite kehitettiin sisäkäyttösovellusten efektipinnoiksi, sillä kirkaslakassa olevat polyamidipartikkelit eivät kestä UV-säteilyä.

Toinen pinnoitteista oli väritön tai värillinen, läpikuultava kirkaslakkapinnoite, joka maalattaisiin suoraan sinkkipinnan päälle. Kirkaslakan alta näkyvä sinkkipinta antaisi tuotteelle vivahteikkaan ulkonäön. Tutkittiin yksikerroksisen pinnoitteen lisäksi mahdollisuutta lisätä värillisen lakan alle värittömän lakkakerroksen, jolloin pinnoitteen korroosion- ja kosteudenkestävyyttä varastoinnin ja kuljetuksen aikana paranisi. Myös tämä pinnoite oli tarkoitettu esimerkiksi sisäseinien efektipinnoitteeksi. [47][48]

2000-luvun alusta lähtien Ruukin tuotevalikoimaan kuuluivat PVDF-pohjaiset koristeelliset pinnoitteet PVDF Shine ja PVDF Hiarc. Molemmat pinnoitteet olivat helmiäispigmentoituja, joissa värisävy vaihtui katselukulmasta riippuen. PVDF Hiarc -pinnoite oli nelikerroksinen. Pohjamaalin päälle levitettiin värillinen, peittävä

pohjamaali ja sen päälle helmiäislakka sekä väritön kirkaslakka. Shine-pinnoite oli kolmikerroksinen ja muuten samanlainen kuin Hiarc, mutta ilman päällimmäistä lakkakerrosta. Pinnoitteiden valmistuksessa haasteena oli värin tasalaatuisuus, sillä mitä paksumpi kerros helmiäislakkaa oli, sitä vähemmän pohjamaali näkyi. Lisäksi monikerrospinnoitteiden valmistuskustannukset olivat suuret. Molempien pinnoitteiden valmistaminen on lopetettu niiden haastavuuden ja kannattamattomuuden vuoksi.

Myöhemmin kolmikerroksisesta Shine-pinnoitteesta yritettiin kehittää edelleen kaksikerroksista siten, että alempi kerros olisi ollut polyesteripohjamaalia ja päällimmäinen kerros ”colourshift”-pigmentoitua PVDF-lakkaa. Pinnoitteen adheesio, joustavuus ja kosteudenkestävyys eivät täyttäneet tarvittavia kriteerejä, joten kaksikerroksisen helmiäispinnoitteen kehittäminen lopetettiin vuonna 2009. [49][50][51]

Vuosina 2008–2009 Ruukilla oli käynnissä hanke, jossa kehitettiin White Goods -pinnoitetta Bosch-Siemensille. Sen tavoitteena oli kehittää korkeakiiltoinen, valkoinen ja lievästi strukturoitu (niin sanottu orange peel -struktuuri) pinnoite kodinkoneteollisuuteen. Pinnoitetta kehitettiin asiakkaan tarpeiden mukaisesti: virheet ja pinnan tasalaatuisuutta heikentävät tekijät oli spesifioitu erityisen tarkasti. Kaksikerroksisessa pinnoitesysteemissä oli alla strukturoitu primer ja päällä korkeakiiltoinen strukturoimaton pintamaali. Pinnoitteelle suoritettiin useita linjakoemaalauksia, ja se saatiin kehitettyä hyvään valmiuteen. Todettiin, että mitä suurempia määriä pinnoitetta valmistetaan kerralla, sitä parempi pinnanlaatu saavutetaan. Pinnoitetta ei kuitenkaan alettu toimittaa Bosch-Siemensille, eikä muita asiakkaita ole tuotteelle löydetty. [24]

## 5 METALLITUOTETEOLLISUUTEEN SOVELTUVIEN PINNOITTEIDEN KYSYNTÄ

Sisäkäyttöpintoitteiden kysyntää selvitettiin puhelinhaastatteluilla. Haastateltavina oli edustajia useasta Ruukin asiakasyrityksestä, jotka tilaavat premium-luokan sisäkäyttöpintoitteella pinnoitettua terästä. Haastattelun ideana oli selvittää, miksi yritykset käyttävät premium-luokan pintoitteilla pinnoitettua terästä, tai miksi ovat vaihtaneet standard-tason pintoitteen premium-tason pintoitteeseen, eli mistä pintoiteominaisuuksista asiakkaat ovat valmiita maksamaan. Asiakkailta tiedusteltiin pintoitteiden käytöstä, kuten mihin tuotteeseen tai tuotteisiin yritykset käyttävät Ruukin pinnoitettua terästä, miksi juuri kyseinen pintoite on valittu. Osa Ruukin asiakkaista ainoastaan profiloi maalipinnoitetun teräsohutlevyn, joten näissä tapauksissa haastateltiin myös lopullisen tuotteen valmistavaa yritystä. Kaikki haastattelut suoritettiin käyttäen etukäteen määritettyä kyselyrunkoa, joka on tässä työssä liitteenä 1.

Haastatteluilla selvitettiin, mitä ominaisuuksia pintoitteelta vaaditaan tuotteen valmistusprosessissa ja sen lopullisessa käyttökohteessa. Vertailtavana oli pintoitteen ulkonäön merkitys suhteessa sen mekaanisiin ominaisuuksiin. Kulutuskestävyys- ja joustavuusominaisuuksien sekä tiettyjen ulkonäköominaisuuksien arvostuksesta esitettiin tarkentavia kysymyksiä. Lisäksi yrityksiltä selvitettiin heidän asenteita suojakalvon ja koristeellisten pintoitteiden käyttöä kohtaan.

Osa kysymyksistä koski yritysten maalaamattoman teräsohutlevymateriaalin käyttöä suhteessa maalipinnoitettuun ohutlevyteräkseen. Haastateltavilta kysyttiin, mitä tuotteita yritykset valmistavat maalaamattomasta teräksestä ja pulverimaalataanko tuotteita jälkikäteen. Tavoitteena oli selvittää, miksi yritykset eivät käytä valmiiksi maalipinnoitettua terästä niissä sovelluksissa, jotka maalataan jälkikäteen.

Kysely tehtiin vain Ruukin kotimaisille asiakkaille. Haastatteluun vastasivat edustajat yhteensä kahdeksasta eri yrityksestä, joista kuusi edustivat Ruukin asiakkaita ja kaksi asiakkaiden asiakkaita. Haastateltavana olivat Metallivalmiste A. Laaksonen Oy:n toimitusjohtaja, Nokian NPT Oy:n tekninen päällikkö, Hanza Finland, Vaasa Oy:n lautupäällikkö, Forssan LVI-valmiste Oy:n tuotantopäällikkö, Leimec Oy:n tuotantopäällikkö, Vacon Oy:n hankintapäällikkö, Stala Oy:n tuotantopäällikkö sekä erään suomalaisen sähkökaapelikotelointeja valmistavan yrityksen hankintapäällikkö. Tässä luvussa oleva tieto on peräisin edellä mainittujen henkilöiden haastatteluista. Lisäksi tutkimuksessa haastateltiin Ruukin teknisen asiakaspalvelun työntekijöitä ja



kysyttiin heidän kokemuksistaan siitä, miten Ruukin tuotteita käytetään ulkomaalaisissa yrityksissä.

## 5.1 Nykyiset pinnoitteet käyttökohteissa

Ruukin sisäkäyttöön soveltuvia pinnoitteita käytetään metallituoteteollisuudessa muun muassa erilaisten teräsohutlevyistä valmistettavien hyllyjen, kaappien, seinälevyjen ja suojakoteloiden pinnoissa. Sovelluksissa, joissa pinnoitteelta vaaditaan esimerkiksi kosteuden- ja säänkestävyyttä tai erityisen hyvää joustavuutta, käytetään Pural- ja Hiarc-pinnoitteita. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi taajuusmuuttajan suojakotelot, joita käytetään sekä sisä- että ulko-olosuhteissa, postilaatit ja pihamoduulit, kuten roskakatokset, sekä sähkökaapeleiden suojakoteloiden päälliskannet, joita toisinaan käytetään tiloissa, jossa ne altistuvat kosteudelle. Tuotteissa, joilta ei vaadita erityistä kulutuskestoa, käytetään standard-tason polyesteripinnoitteita.

Haastatelluista yrityksistä kolme käytti struktuuripolyesteriä, yksi Puralia, yksi Pural Mattaa ja yksi Hiarc-pinnoitetta. Yksi yrityksistä käytti lisäksi Ruukin normaalia korkeakiiltoista sisäkäyttöpolyesteriä. Tyypillisesti pinnoite on valittu tuotteeseen loppukäyttäjän toiveiden mukaisesti. Yritykset, jotka profiloivat tuotteen toisen yrityksen jatkokäyttöä varten, eivät saa vaikuttaa pinnoitteeseen itse. Heille pinnoitetyypillä ei ole muuta merkitystä, kuin että se kestää heidän muovausprosessinsa ja muun käsittelyn. Puolet loppukäyttäjistä kertoivat valinneensa pinnoitteen ulkonäön niin, että se sopii yrityksen brändiin, ja puolet olivat valinneet pinnoitteen väriksi RAL-värejä, eli kansanvälisesti standardoituja värisävyjä.

Arkistohyllyjä valmistava Metallivalmiste A. Laaksonen Oy on aikaisemmin, noin 25 vuotta sitten, käyttänyt pinnoitteena Ruukin normaalia polyesteriä. Pinnoite ei kuitenkaan kestänyt muovausprosessia eikä käyttöä tarpeeksi hyvin, joten pinnoite vaihdettiin struktuuripolyesteriin. Kahdessa yrityksessä, Stala Oy:ssä ja Nokian NPT Oy:ssä, on aikaisemmin käytetty maalaamatonta terästä, joka on pulverimaalattu tuotteen muovaamisen jälkeen. Pulverimaalaamisesta on haluttu päästä eroon, minkä vuoksi on alettu käyttää valmiiksi maalattua terästä. Stala Oy valitsi Pural matta -pinnoitteen ja Nokian NPT Oy struktuuripolyesterin. Muissa yrityksissä ei ole haastateltavan tiedon mukaan vaihdettu pinnoitetta. Kaikki yritykset olivat tyytyväisiä tällä hetkellä käyttämäänsä pinnoitteeseen, ja olivat sitä mieltä, että pinnoite on kaikin puolin sopiva heidän tuotteisiinsa.

Muita esimerkkejä, joissa standard-luokan pinnoite on vaihdettu premium- tai special-luokan pinnoitteeseen on teknisen asiakaspalvelun kokemuksen mukaan ollut sekä ulkomailla että Suomessa. Norjalainen Glamox valmistaa valaisimien koteloita. Aiemmin heillä on ollut käytössä Ruukin standard-luokan polyesteri-pinnoite, mutta se ei kestänyt tuotteiden muovausta, joten yritys vaihtoi sen Pural-pinnoitteeseen. Yritys valitsi Pural-

pinnoitteen, koska se on joustava ja liukaspintainen, jolloin muovausöljyä ei tarvitse käyttää. Toinen vastaava tapaus on norjalainen Beha Fabrikker, joka valmistaa lämpöpattereita. Aluksi he valmistivat tuotteitaan polyesterillä pinnoitetusta teräksestä. Teräs toimitettiin heille suojakalvoitettuna, sillä heillä oli yhtenä prosessivaiheena lävistys. Ongelmana oli suojakalvon irtoaminen prosessin aikana, minkä vuoksi yritys vaihtoi Pural-pinnoitteen, jota voi lävistää ilman suojakalvoa. Tanskalainen Rustek valmistaa pellettiuunin koteloita Purexilla pinnoitetusta teräksestä. Purexin prosessoitavuus on hyvä, sillä sitä pystyy muovaamaan naarmuuntumatta. Suomalainen lämpöpattereita valmistava Ensto Enervent vaihtoi pulverimaalauksen Ruukin polyesterillä pinnoitettuun teräkseen, sillä pulverimaalauksen laatu ei ollut riittävä, vaan esimerkiksi väri oli epätasainen. [29]

## 5.2 Pinnoitteelta vaadittavat ominaisuudet

Haastatteluissa pinnoitteelta vaadittavat ominaisuudet jaettiin kahteen luokkaan: ne ominaisuudet, joita pinnoitteelta vaaditaan muovauksen, leikkauksen ja muun käsittelyn yhteydessä ja ne ominaisuudet, joita pinnoitteelta vaaditaan tuotteen lopullisessa käyttökohteessa. Ne yritykset, jotka ainoastaan profiloivat terästuotteen, keskittyivät kertomaan vaatimuksista prosessissa, kun taas lopputuotteen valmistavat yritykset ottivat enemmän kantaa käyttökohteessa vaadittaviin ominaisuuksiin.

Lopullisen tuotteen kannalta pinnoitteelta vaadittavat ominaisuudet riippuvat tuotteesta ja sen käyttökohteesta. Hyllyjen ja kaappien kannalta oleellisin ominaisuus on pinnoitteen kulutuskesto, jotta tuotteen pinta ei naarmuunnu, kun tavaraa laitetaan hyllylle tai otetaan pois. Kosteissa tai ulkotiloissa käytettävät tuotteet, kuten taajuusmuuttajan kuoret ja kaapelikoteloiden päällyskannet vaativat pinnoitteelta kosteuden ja korroosion kestoja, mutta loppukäytössä eivät joudu mekaaniseen rasitukseen. Postilaatikoissa myös kosteuden- ja korroosion- sekä UV-säteilynkestävyys tulee olla hyvä. Lisäksi pihamoduuleissa, kuten roskakatoksessa on puhdistettavuus tärkeä ominaisuus. Sähkökaapeleiden levyhyllyt tai Nokian NPT:n valmistamat äänieristepaneelit eivät juuri joudu loppukäytössä rasituksen kohteeksi, joten niiden kohdalla tärkein ominaisuus on ulkonäkö.

Valmistusprosessissa kaikkien tuotteiden kohdalla tärkeimmät ominaisuudet, joita pinnoitteilta vaaditaan, ovat joustavuus ja muovauksen kesto. Tuotteiden muovauksessa käytetään särmäystä, taivutusta sekä rullamuovausmenetelmää. Lisäksi joissain tapauksissa käytetään leikkausmenetelmänä lävistystä ja laserleikkausta. Joustavuuden lisäksi kaikissa edellä mainituissa prosesseissa pinnoitteelta vaaditaan erinomaista naarmuuntumiskestävyyttä. Melkein kaikki haastateltavat kertoivat naarmuuntumisen olevan suurin riski heidän muovausprosessinsa aikana. Joustavuuden kanssa ei ollut ollut ongelmia. Yksi asiakas mainitsi pinnoitteen kemikaalinkestön olevan tärkeä ominaisuus, sillä valmistusprosesseissa käytetään voimakkaita kemikaaleja.

Naarmuuntumista voidaan prosessin aikana ehkäistä suojakalvon avulla. [12, s. 13] Haastatelluista yritysedustajista enemmistö (6/8) kertoi suojakalvon olevan ehdottoman tärkeä heidän prosessissaan. Näistä kaikilla paitsi yhdellä on tai on joskus ollut ongelmia suojakalvon kanssa. Suurin ongelma suojakalvon käytössä on ollut, että se irtoaa prosessin aikana, kun kalvon liima ei pysy kiinni pinnoitteessa. Myös päinvastaisia ongelmia on ollut: yksi haastateltavista kertoi, että suojakalvoa on erittäin vaikea irrottaa muovauksen jälkeen, kun kalvon reunat ovat jääneet teräslevyn taitosten väliin. Lisäksi ongelmana on ollut se, ettei suojakalvon paksuus riitä suojaamaan prosessissa irtoavilta metallihipuilta. Neljä haastateltavista oli sitä mieltä, että suojakalvojen kehittämiseen kannattaisi panostaa.

Kaksi edustajaa sanoi, ettei heillä ole tarvetta suojakalvon käyttöön. Toinen kertoi syyksi, että suojakalvon poisrepiminen on koettu liian työlääksi, ja heidän prosessissaan käytettävien työkalujen terät on suojattu.

### 5.3 Yritysten arvot

Haastateltavilta kysyttiin, kuinka tärkeinä he pitävät pinnoitteen mekaanisia ominaisuuksia verrattuna sen ulkonäköön. Vastaajalle annettiin viisi pistettä, jotka hänen tuli jakaa näiden kahden tekijän kesken. Lisäksi haastateltavia pyydettiin arvottamaan joustavuuden ja kulutuskeston tärkeys asteikolla 1-5. Vastaukset on koottu taulukkoon 5.1.

**Taulukko 5.1.** *Haastateltujen yritysedustajien mielipiteet pinnoitteiden ominaisuuksien merkityksestä.*

Haastateltava	Työvaihe	Mekaaniset ominaisuudet	Ulkonäkö	Joustavuus	Kulutuskestävyys
1	Profilointi + lopputuote	3.0	2.0	4.5	5.0
2	Profilointi + lopputuote	3.0	2.0	5.0	3.0
3	Profilointi	3.0	2.0	5.0	5.0
4	Profilointi	4.0	1.0	5.0	3.0
5	Profilointi	3.0	2.0	5.0	5.0
6	Lopputuote	2.5	2.5	4.5	3.0
7	Profilointi + lopputuote	3.0	2.0	5.0	4.0
8	Lopputuote	1.0	4.0	5.0	1.0

Haastateltavia pyydettiin vastaamaan kysymykseen puhtaasti oman yrityksen näkökulmasta, jolloin vastaukseen vaikutti se, oliko vastaaja tuotteen profiloinnista vai lopputuotteen valmistuksesta vastaavan yrityksen edustaja. Taulukosta voidaan nähdä, että haastateltavat kokivat useammin mekaanisten ominaisuuksien olevan

merkityksellisempiä kuin ulkonäön. Ulkonäköasiaa kommentoitiin muun muassa niin, että kunhan ulkonäkö täyttää asiakkaan vaatimukset, se riittää. Myös ajateltiin, että kunhan pinnoitteen mekaaniset ominaisuudet ovat kunnossa, ei ulkonäössäkään pitäisi olla valittamista. Vastaajat arvottivat useimmin joustavuuden tärkeämmäksi tekijäksi kuin kulutuskestävyyden. Jotkut vastaajat ajattelivat kulutuskeston viittaavan profiloinnin aikaiseen, ja toiset taas loppukäytön aikaiseen rasitukseen.

Kun haastateltavilta kysyttiin pinnoitteiden tärkeimmistä ulkonäköominaisuuksista, yleisin (5/8) vastaus oli tasalaatuisuus. Kun tuotteet ovat suuria ja valmistetaan useasta eri osasta, vierekkäisten osien on näytettävä samalta. Valmistajan kannalta myös pinnan struktuuri on tärkeä, sillä struktuuripinnoitteilla koetaan olevan parempi naarmunkestävyys. Myös yhdessä tapauksessa asiakas oli halunnut nimenomaan struktuuripinnan. Stala Oy:n kohdalla tuli esille, että struktuurista saattaa olla jopa haittaa. Pihamoduulin puhdistaminen on haastavaa, kun lika tarttuu struktuurin pohjalle. Kuitenkaan yleisimmin ei pinnan topografialla, kuten ei myöskään kiiltoasteella, ollut merkitystä. Värisävyllä taas oli merkitystä, sillä suurimmassa osassa tapauksista (7/8) värin määrittä asiakas tai RAL-koodit.

Juuri kukaan vastaajista ei ollut tavannut koristeellisia pinnoitteita käytettävän omassa yrityksessään. Vacon Oy käyttää Ruukin vaaleansinistä metallipigmentoitua Hiarc-pinnoitetta, mutta pinnoite on valittu, koska sen väri täsmäsi yrityksen brändiväreihin. Metallivalmiste A. Laaksoella on joskus ollut kokeiluerä metallipigmentoitua pinnoitetta, mutta käyttöä ei jatkettu, sillä tuotteet olivat tavanomaisia kalliimpia, eivätkä menneet kaupaksi.

Yhdessä yrityksessä valmistetaan asiakkaiden toiveesta koristeellisia pintoja, mutta koska kysyntä on vähäistä, pinnat maalataan pulverimaalauksella. Yksi haastateltavista sanoi, ettei välttämättä lähtisi edes tekemään tuotteita koristeellisella maalilla pinnoitetusta teräksestä, vaikka asiakas pyytäisi, sillä asiakas voisi nopeasti muuttaa mielensä korkeamman hinnan vuoksi. Toisessa yrityksessä taas oltiin sitä mieltä, että jos riittävän suuri asiakas tällaista pinnoitetta tilaisi, niin yritys voisi valmistaa tuotteita myös sellaisesta.

Haastateltavia pyydettiin ideoimaan millainen koristeellinen pinnoite heidän tuotteessaan voisi olla. Vastausten perusteella koristeellinen seinäpaneeli voisi olla esimerkiksi helmiäispigmentoitu kameleonttipinnoite. Hyllyjen koriste-paneeli voisi olla monivärinen, kiiltävä struktuuripinta. Taajuusmuuttajan kotelon pinta voisi olla yksivärinen struktuuripintainen, sillä struktuuripintaa on helpompi hallita prosessissa, mutta toisaalta kiiltävä pinta on näyttävämmän näköinen. Kameleonttipinnoite sopisi postilaatikkoon hyvin. Toisaalta myös jonkinlainen valoa heijastava maali olisi hyvä postilaatikkoon.

Yksi haastatelluista yritysedustajista oli sitä mieltä, että Ruukin kannattaa panostaa koristeellisten pinnoitteiden kehittämiseen. Vastaaja ehdotti, että koristeellisia pinnoitteita voisi käyttää esimerkiksi ilmastointikanavien osissa, jotka jäävät näkyviin. Suurin osa vastaajista (7/8) ei osannut sanoa tai oli sitä mieltä, ettei koristeellisten pinnoitteiden kehittämiseen kannata panostaa, sillä epäiltiin, ettei niille ole kysyntää. Massatuotannossa on parempi olla perusvärejä. Jos kuitenkin markkinoita löytyy, niin koristeelliset pinnoitteet ovat hyvä lisä tuotevalikoimaan, kunhan vaihtoehtoja on useampi kuin yksi. Kuitenkaan mekaaniset ominaisuudet eivät saa kärsiä siitä, että ulkonäköön panostetaan.

## 5.4 Ohutlevyteräksen käyttö

Yritysten edustajilta kysyttiin, kuinka paljon he käyttävät maalipinnoitettua terästä suhteessa maalaamattomaan teräkseen. Tyypillisesti maalipinnoitettua terästä oli käytössä korkeintaan 10 % kaikesta ohutlevyteräksestä. Kahdella yrityksellä määrä oli suurempi. Muita käytettyjä teräslaatuja olivat kylmävalssattu, kuumavalssattu, sinkitty ja ruostumaton teräs. Maalaamatonta terästä käytetään pääasiassa tuotteiden osiin, jotka sijoitetaan tiloihin, jossa ne eivät ole julkisesti näkyvillä (kattojen sisälle) tai jossa niiden ulkonäöllä ei ole väliä (tehdashallit).

Toisinaan teräsohutlevystä valmistetut tuotteet maalataan jälkikäteen. Yksi yleisimmistä jälkimaalausmenetelmistä on pulverimaalaus. Pulverimaalauksessa maalikalvo syntyy ruiskuttamalla jauhemaista maalia maalattavan esineen päälle, ja kuumentamalla sitä niin, että jauhe sulaa. Jauhe kiinnitetään puhdistetun ja esikäsitellyn metallipinnan päälle tyypillisesti elektrostaattisella menetelmällä. Pulverimaalit ovat ympäristöystävällisiä, koska niissä ei ole liuottimia. Pulverimaalaus on hidasta ja kallista. Valmiiksi maalatun teräksen käytön etuja ovat esimerkiksi nopeus ja laadunhallinta. Kustannussäästöjä syntyy, kun terästuotteen loppukäyttäjän ei tarvitse organisoida maalausta, jolloin säästytään työntekijäkustannuksilta, jätteiden käsittelyltä, maalivaraston ylläpidolta sekä ylimääräiseltä työvaiheelta tuotannossa. [6, s. 72][29]

Lukuun ottamatta Stala Oy:tä, joka on aikanaan luopunut pulverimaalauksesta, kaikki yritykset pulverimaalaavat osan komponenteista. On useita syitä, miksi yritykset käyttävät pulverimaalausta sen heikkouksista huolimatta. Yleisimmin syyt liittyvät materiaalien ja tuotantomenetelmien teknisiin rajoituksiin sekä tuotantomääriin ja yrityksen tuotevalikoimaan. Esimerkiksi, jos komponentit vaativat hitsausta, niitä ei yleisesti ottaen voida valmistaa maalipinnoitetusta teräksestä. Kuitenkin joissakin tapauksissa esimerkiksi piste- ja laserhitsaus sopii maalatulle teräkselle, kuten luvussa 3.4 on esitetty. Kaksi yrityksistä kertoi, että osa komponenteista jälkimaalataan, jotta niiden pinnat eivät naarmuunnu tuotteen valmistusprosessin aikana. Nokian NPT Oy jälkimaalaa osan tuotteista, koska se valmistaa osan komponenteista yli 1,5 mm:n paksuisesta teräksestä, jota ei maalipinnoituslinjan rajoitusten vuoksi pystyttyä maalipinnoittamaan.

Leimec Oy valmistaa postilaatikoita sinkitystä teräksestä ja maalaa ne jälkikäteen. Maalipinnoitettua terästä ei käytetä, sillä siinä teräksen leikkausreuna jää näkyviin tuotteeseen, jolloin se ei ole suojattu eikä näytä siistiltä.

Yksi tärkeimmistä syistä pulverimaalaukselle on se, että tuotteita voidaan valmistaa pienempiä määriä kustannustehokkaasti. Pulverimaalaus on joustava menetelmä, ja tällä yhdellä menetelmällä voidaan pinnoittaa monia erityyppisiä tuotteita. Maalipinnoitettu teräs sopii paremmin suuriin tuotantomääriin. Maalipinnoitettua terästä ei kannata pitää varastossa suuria määriä, sillä siitä aiheutuu merkittäviä kustannuksia, ja pinnoitteen muovattavuus saattaa heikentyä pitkän varastoinnin seurauksena. Sen sijaan, että tilataan suuri määrä maalipinnoitettua terästä, pulverimaalataan vain tarvittavat osat. Näin ollen asiakkaille voidaan myös antaa mahdollisuus vaikuttaa tuotteen väriin.

Kaksi yrityksistä kertoi heillä olleen ongelmia pulverimaalauksen suhteen. Jälkimaalattavan pinnan tulee olla täysin puhdas. Vastaajien mukaan kaikki substraatissa oleva lika ei aina kuitenkaan lähde puhdistettaessa. Myös esimerkiksi substraattiin tehdyt merkinnät saattavat kuultaa maalauksen läpi.

## 6 KOKEELLISET MENETELMÄT

Kokeellisessa osuudessa tutkittiin maalintoimittajien tarjoamia sisäkäyttösovelluksiin sopivia maalipinnoitteita. Maalintoimittajia pyydettiin lähettämään märkämaalinäytteitä, jotka maalattiin laboratoriossa sinkityn, valmiiksi esikäsitellyn substraatin päälle. Lisäksi maalattiin Ruukin tuotevalikoimasta vastaavia pinnoitteita referensseiksi testeihin. Tässä luvussa käydään läpi laboratoriomaalausmenetelmää sekä tutustutaan tarkemmin näytteiden testausmenetelmiin.

Maalatut näytteet testattiin Ruukin tuotekehityslaboratoriossa Hämeenlinnassa. Testauksen tarkoituksena oli sekä arvioida laboratoriomaalauksen onnistumista että määrittää maalattujen pinnoitteiden ominaisuuksia. Näytteille tehtiin useita mekaanisia testejä, jotka mittasivat pinnoitteen muovattavuutta ja kulutuskestoa. Lisäksi määritettiin pinnoitteiden adheesio ja liuottimen kesto, sekä mitattiin näytteiden visuaalisia ominaisuuksia. Kovettumisen onnistumista ja liuottimien kestoja arvioitiin MEK- ja Stripper-kokeella.

### 6.1 Näytteet

Luvussa 4 esitellyistä pinnoitteista valittiin mielenkiintoisimmat, ja maalintoimittajia pyydettiin toimittamaan niistä märkämaalinäytteet laboratoriomaalauksia varten. Maalattavaksi valittiin yhteensä 30 pinnoitetta, sisältäen pintamaalin ja mahdollisen pohjamaalin, neljältä eri maalintoimittajalta. Osa näytteistä maalattiin sekä ilman primeria että primerin kanssa, ja osalle näytteistä kokeiltiin kahta erilaista primeria. Jotkut näytteet maalattiin uudelleen, kun testauksissa ilmeni jotain poikkeavaa. Yhteensä maalattiin 42 näytettä, joista seitsemän on Ruukin omia pinnoitteita, jotka otettiin mukaan vertailun ja virheen arvioinnin vuoksi. Maalaus suoritettiin viidessä osassa siten, että ensimmäisessä sarjassa maalattiin näytteet 1–9 sekä 11, sillä näytteen 10 maalaus epäonnistui. Seuraavalla kerralla maalattiin onnistuneesti näyte 10 sekä näytteet 12–16. Kolmannessa sarjassa olivat näytteet 17–23, neljännessä 24–29 ja viimeisessä näytteet 30–42.

Pinnoitteet jaoteltiin Flex-, Robust-, Hot-, ja Deco-kategorioihin sen perusteella, miten maalintoimittaja pinnoitetta kuvaili. Kategoriat on määritelty tarkemmin luvussa 4. Taulukossa 6.1 on listattuna kaikki maalatut näytteet. Jokaisesta näytteestä maalattiin 10–14 rinnakkaista näytettä.

**Taulukko 6.1.** Näytteiden nimet, pinnoitteen rakenne sekä millä kerralla mikäkin pinnoite on maalattu.

Näytenro	Nimi	Primer	Värimaali	Lakka	Maalauskerro
1	VC Deco 1 A	-	-	x	1
2	Struktuuripolyesteri A	-	x	x	1
3	Pural	x	x	-	1
4	VC Robust 2 A	-	x	x	1
5	VC Robust 1	x*	x	-	1
6	VC Robust/Deco	x*	x	-	1
7	Purex	x*	x	-	1
8	VC Flex	x*	x	-	1
9	ARS-polyesteri A	x*	x	-	1
10	VC Robust 3	x*	x	-	2
11	VC Robust 2 B	x*	x	x	1
12	KCC Deco 1 A	x*	x	x	2
13	KCC Deco 1 B	-	x	x	2
14	KCC Robust 1 A	x	x	-	2
15	KCC Robust 1 B	-	x	-	2
16	Struktuuripolyesteri B	-	x	-	2
17	VC Deco 1 B	-	-	x	3
18	BIC Flex 1	x	x	-	3
19	BIC Flex 2	x	x	-	3
20	BIC Robust 1	-	x	x	3
21	BIC Robust 2	-	x	x	3
22	BIC Deco 1	-	x	x	3
23	BIC Deco 2	-	x	x	3
24	BIC Flex/Robust	x	x	-	4
25	BIC Deco 3	-	x	x	4
26	BIC Deco 4	-	x	x	4
27	BIC Deco 5	-	x	x	4
28	BIC Deco 6	-	x	x	4
29	VC Deco 2	-	x	x	4
30	ARS-polyesteri B	x*	x	-	5
31	ARS-polyesteri C	x*	x	-	5
32	KCC Hot 1	x*	x	-	5
33	KCC Hot 2	x*	x	-	5
34	KCC Robust 2	x*	x	-	5
35	KCC Robust 3	x*	x	-	5
36	KCC Flex A	x*	x	-	5
37	KCC Flex B	x	x	-	5
38	KCC Deco 2 A	-	-	x	5
39	KCC Deco 2 B	-	-	x	5
40	KCC Deco 2 C	-	-	x	5
41	KCC Deco 2 D	-	-	x	5
42	BASF Flex/Robust 2	x	x	x	5

\*Ruukin yleisprimer



Osassa näytteistä on käytetty maalinvalmistajien kuhunkin pinnoitesysteemiin kehitettyä primeria. Niissä tapauksissa, joissa valmistaja ei toimittanut pintamaalin mukana primeria, käytettiin Ruukin yleisprimeria. Näytteissä 4 ja 11 on sama pinnoite, mutta toisessa alla on käytetty Ruukin yleisprimeria, kun taas toisessa ei ole primeria ollenkaan. Samoin on näytteiden 12 ja 13 kohdalla. Näytteet 14 ja 15 ovat myös sama pinnoite, mutta toisessa alla on toimittajan oma primer, ja toisessa ei ole primeria ollenkaan. Näytteissä 36 ja 37 pintamaali on sama, mutta toisessa alla on toimittajan oma primer ja toisessa Ruukin yleisprimer.

## 6.2 Näytteiden laboratorimaalaus

Maalausta varten hankittiin Hämeenlinnan maalipinnoituslinjalla valmiiksi esikäsiteltyä substraattia. Substraatiksi valittiin yleisesti käytetty rakenneteräs (S280GD), jossa 0,5 mm paksuisen kylmävalssatun teräksen päällä on 275 g/m<sup>2</sup>:n sinkkikerros. Sinkitty teräsohutlevy leikattiin 150 x 100 mm:n kokoisiksi paloiksi. Leikkausvaiheessa oli kiinnitettävä huomiota, että leikkausreunat jäivät alaspäin, sillä rosoiset reunat hankaloittavat maalausta. Oli myös varottava, ettei esikäsitelty pinta vaurioitu leikkauksen, kuljetuksen ja muun käsittelyn aikana.

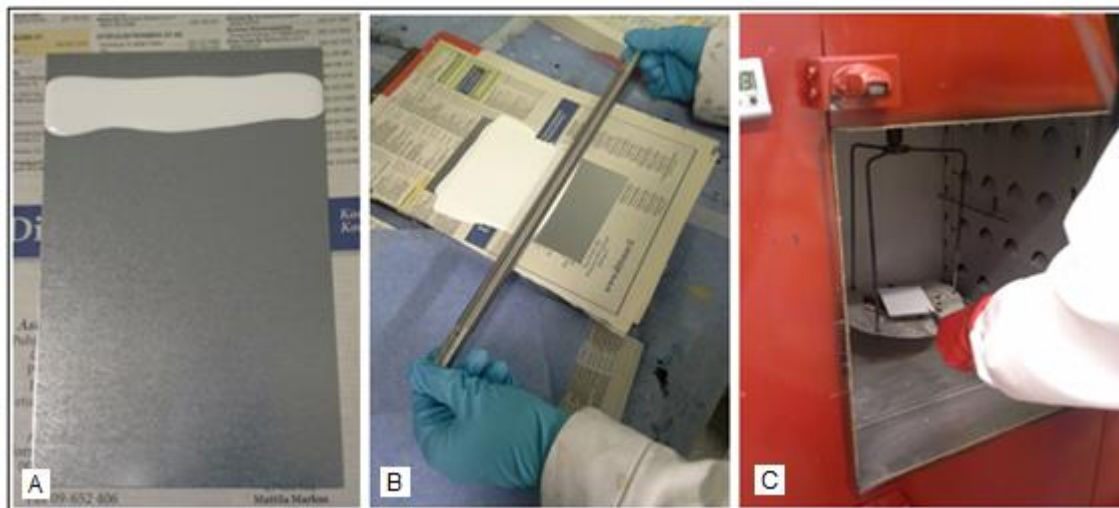
Laboratorimaalauksen ideana on jäljitellä linjamaalausta pienoiskoossa. Maalaus suoritettiin Turussa Ruukin yhteistyökumppanin Top Analytica Oy Ab:n tutkimuslaboratoriossa. Koska näytteitä oli paljon, maalaus suoritettiin viidessä osassa. Maalausvälineenä oli metallinen kierreapplikaattori, jolla pystyttiin jäljittelemään telamaalausta. Kuvassa 6.1 on nähtävissä applikaattoreina käytettyjä sauvoja.



**Kuva 6.1.** Maalausvälineenä käytettyjä kierreapplikaattoreita.

Aluksi substraattilevyn pinta puhdistettiin pölystä ja muusta irtoliasta paineilman avulla adheesion maksimoimiseksi. Puhdas levy kiinnitettiin suojatun magneettipöydän päälle, ja sen yläreunaan levitettiin maalia kuvan 6.2 A mukaisesti. Sauvaa pyöriteltiin hetki maalissa, jotta maali levittyi kunnolla sauvan kierteisiin ja mahdolliset ilmakuplat poistuivat. Sitten sauva vedettiin tasaisella nopeudella ylhäältä alas kevyesti painaen, jolloin maali levittyi tasaisesti substraatin pinnalle. Maalausta on havainnollistettu kuvassa 6.2 B.

Heti maalauksen jälkeen maali kovetettiin The Aalborg Companyn H-12850AA laboratoriuunissa, joka lämmitettiin 300 °C:ksi. Uunin lämpötila laski muutamia asteita ovea avattaessa. Tulosten vertailukelpoisuuden vuoksi levy laitettiin uuniin aina sillä hetkellä, kun lämpötila oli 290 °C:ta. Levy asetettiin uunin keskellä olevaan pyörivään telineeseen, kuten kuvasta 6.2 C on nähtävissä. Levyn annettiin olla uunissa 30–50 sekuntia pinnoitteen PMT:sta riippuen. Sen jälkeen levy jäähdytettiin kastamalla se kylmään veteen, ja se kuivattiin paineilman avulla.



**Kuva 6.2.** Maalia levitettiin substraattilevyn yläreunaan, jonka jälkeen se levitettiin tasaisesti koko levyn pinnalle. Maalattu levy asetettiin uunin keskellä olevaan pyörivään telineeseen.

Ennen varsinaisten näytteiden maalausta selvitettiin maalintoimittajilta pinnoitteiden tavoitekalvonpaksuudet ja PMT-arvot. Optimaalinen applikaattorikoko selvitettiin siten, että maalattiin näytteitä erikokoisilla sauvoilla pyrkien tavoitekalvonpaksuuteen ja mitattiin kuivuneen maalikalvon paksuus. Maalille ominaiseen PMT-arvoon perustuen määritettiin maalin vaatima kovetusaika (*curing time*) PMT-teipin avulla. Parametrit on taulukoitu näytenumeroittain liitteen 2 mukaiseen taulukkoon.

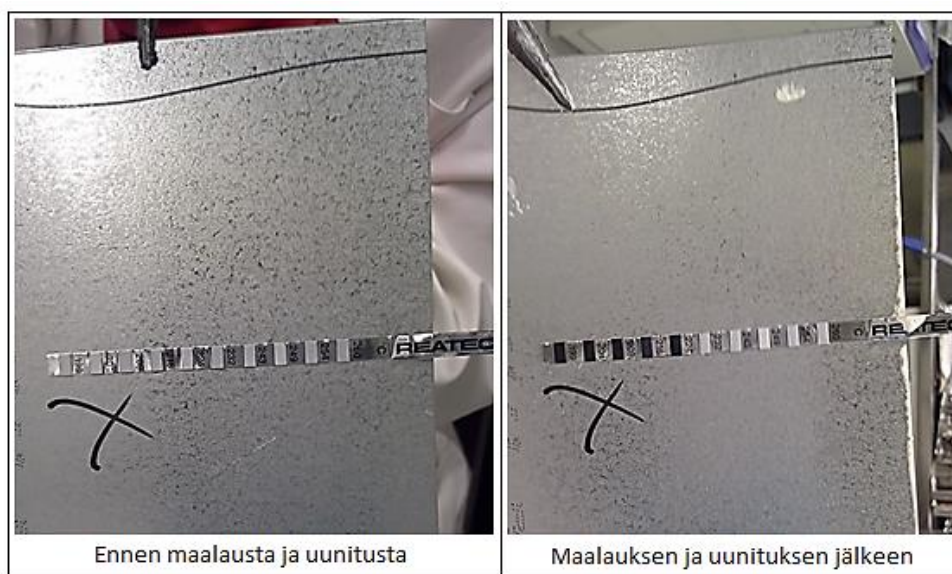
Mitä suuremmat kierteet sauvassa on, sitä suurempi kalvonpaksuus sillä voidaan saavuttaa. Aluksi valittiin aiemman kokemuksen perusteella sauva, jolla maalattiin yksi levy. Maalin kuivumisen jälkeen mitattiin pinnoitepaksuus Fischerscopen kalvonpaksuusmittarilla. Laitteen toimintaperiaate sekä mittausmenetelmä on kuvattu luvussa 6.3. Mittaustuloksen mukaan sauvaa vaihdettiin isommaksi tai pienemmäksi. Sauvojen koot vaihtelivat välillä 8–44. Mitä suurempi numero on, sitä paksummat applikaattorin kierteet ovat ja näin ollen tuloksena on korkeampi kalvonpaksuus. Kuvassa 6.3 on nähtävissä sauvat S08, S28, S34 ja S44. Kuvan mukaisten kokojen lisäksi saatavilla olivat koot S12, S16, S22, S26, S30, S32 ja S42.

S44  
S34  
S28  
S08



**Kuva 6.3.** Erikokoisia applikaattoreita. Mitä pienempi numero, sitä pienemmät kierteet ja sitä pienempi kalvonpaksuus sillä saavutetaan.

Kovetusaika määritettiin pinnoitteiden PMT-arvojen perusteella Reatecin PMT-teipin avulla. PMT-teippi on lämpötilaindikaattori, jonka avulla voidaan määrittää näytelevyn haluttu lämpötila uunituksessa. Teippi kiinnitettiin maalaamattoman substraatin takapuolelle. Pintapuolelle levitettiin maali, minkä jälkeen levy asetettiin uuniin ja annettiin maalin kovettua aiemman, samantyyppisiin maalipinnoitteisiin perustuvan kokemuksen perusteella valitun kovetusajan verran. PMT-teippi tarkistettiin ennen levyn jäähdyttämistä. Kuvassa 6.4 näkyy PMT-teippi sekä ennen maalausta että uunituksen jälkeen. Kuvan tapauksessa teippi mustui korkeimmillaan 224-alueen kohdalta, mikä osoittaa, että kyseisillä parametreilla voidaan kovettaa maaleja, joiden PMT on yli 224 °C mutta alle 232 °C. Jos PMT-alue oli liian matala tai korkea, muutettiin kovetusaikaa muutamalla sekunnilla ja toistettiin koe, kunnes saavutettiin oikea PMT-alue. Taulukkoon liitteeseen 3 on kirjattu näytteille 1-42 määritetyt kovetusajat ja maalausapplikaattoreiden koot.



**Kuva 6.4.** Substraattiin kiinnitetty PMT-teippi sekä ennen että jälkeen maalauksen ja uunituksen.

Laboratoriomittakaavassa tapahtuvaan maalaukseen liittyy useita virhetekijöitä aina kalvonpaksuusmittarin mittaustarkkuudesta inhimillisiin virhetekijöihin. Niitä on käsitelty luvussa 9.2. Maalattujen näytteiden ominaisuuksia testattiin erilaisilla testimenetelmillä, jotka on esitelty seuraavissa luvuissa.

### 6.3 Visuaalisten ominaisuuksien ja kalvonpaksuuden mittaaminen

Visuaaliset ominaisuudet määritettiin mittaamalla väri ja kiilto. *Kiiltomittaus* suoritettiin BYK GARDNER Micro Tri Gloss kiiltomittarilla. Testauksessa sovellettiin tuotekehityslaboratorion työohjetta [20]. Pinnoitteen kiilto mitattiin 60°:n kulmalla levyn kolmesta eri kohdasta, jotka olivat yhdensuuntaiset maalaussuuntaan nähden. Tuloksena ilmoitettiin kolmen mittauksen keskiarvo.

*Värin* numeeriseen määrittämiseen käytettiin DataColor 600 -spektrofotometria, ja mittaus tehtiin tuotekehityslaboratorion työohjeen mukaisesti. Laite ilmoittaa väriarvon CIEL\*a\*b\* -järjestelmän mukaan. Kuitenkin tässä työssä numeerisia väriarvoja oleellisempaa on värin silmämääräinen tarkastelu.

Pinnoitteiden *kuivakalvonpaksuus* on mahdollista mitata monella eri tapaa. Ruukilla käytössä olevat mittausmenetelmät perustuvat esimerkiksi mikrometriin, kiilauurtoperiaatteeseen, optiseen mikroskooppiin tai magneettivuo- ja pyörrevirtamittaukseen. Tähän työhön sopivimmaksi mittalaitteeksi todettiin luotettavuutensa ja nopeutensa vuoksi Fischerscope MMS magneettivuo- ja pyörrevirtamittari. Fischerscopella tehtävä mittaus on lisäksi ainetta rikkomaton menetelmä, jolloin koemateriaalia säästyi. [20]

Ennen jokaisen mittaussession aloittamista mittari kalibroitiin laiteohjeen mukaan, ja laitteen tiedostoista etsittiin käytettyä substraattia vastaava ohjelma. Mittauksessa Fischerscope-laitteen anturi painettiin kohtisuoraan koelevyn pintaa vastaan ja odotettiin laitteen antamaa mittaustulosta. Mittaus toistettiin 10 kertaa ja samalla katsottiin, etteivät mittaustulokset poikkea toisistaan liikaa. Liikaa poikkeava tulos poistettiin. Lopullinen mittaustulos oli 10 mittauksen keskiarvo, ja muistiin merkittiin myös hajonta. Mittaamista on havainnollistettu kuvassa 6.5.



*Kuva 6.5. Pinnoitepaksuuden mittaaminen Fischerscope MMS -laitteella.*

## 6.4 Joustavuuden ja muovattavuuden testaaminen

Joustavuutta ja muovattavuutta testattiin kolmella testillä: Kiilataivutus, iskutaivutus ja kuulanpudotus. *Kiilataivutustesti* (engl. T-bend) perustuu standardiin SFS-EN 13523-7, ja siinä arvioidaan maalipinnoitteen halkeilua ja irtoamista substraatista hitaassa muovauksessa. [20] Kiilataivutustestissä käytetyn laitteiston periaatekuva näkyy kuvassa 6.6.



*Kuva 6.6. Kiilataivutustestissä käytetyn laitteiston periaatekuva. Muokattu lähteestä [20].*

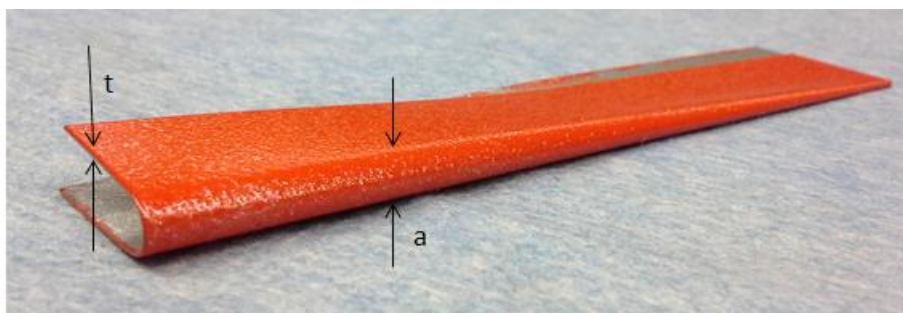
Koelevyt oli leikattu niin, että taivutussauman pituus oli 12 cm. Levyn leveys vaihteli neljän ja viiden senttimetrin välillä. Leveydellä ei ollut merkitystä, kunhan levyn pystyi esitaivuttamaan. Esitaivutettu koelevy asetettiin laitteiston leukojen väliin siten, että taivutussauma oli yhdensuuntainen maalaussuunnan kanssa. Painettiin vipuvarren avulla leuat kiinni 1-2 sekunnin aikana, jolloin saatiin kiilamaisesti taivutettu levy.

Taivutetusta levystä määritettiin pienin taivutussäde, jonka pinnoite kesti halkeilematta ja irtoamatta. Tarkastelussa käytettiin apuna luuppia, jossa on 10-kertainen suurennos. Pienimmän murtumattoman taivutussäteen kohdalta mitattiin taitteen leveys digitaalisella työntömitalla. Taivutuksen T-arvo laskettiin kaavalla 6.1.

$$T = \frac{a-2t}{2t} \quad (6.1)$$



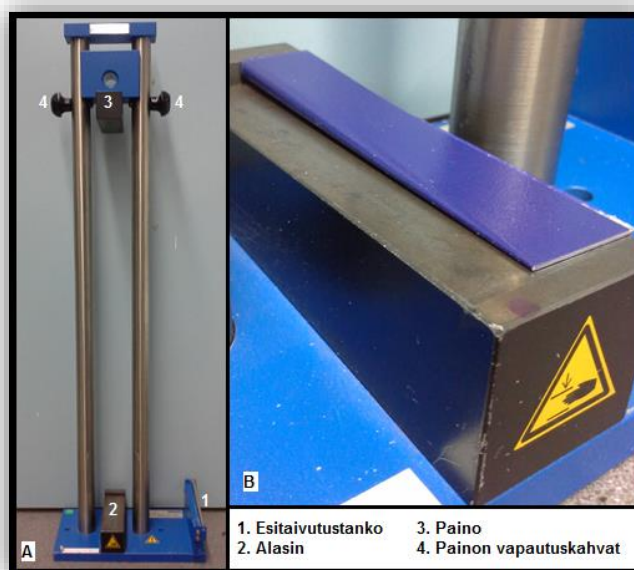
Kaavassa 6.1  $T$  on pinnoitteen kyky vastustaa halkeilua ja irtoamista,  $a$  on mitattu taitteen leveys murtumattomalta kohdalta (mm) ja  $t$  on pinnoitetun teräksen paksuus (mm). Kuvassa 6.7. on havainnollistettu taivutettu näyte, johon on merkitty kaavan 6.1 parametrit. Mitä pienemmän  $T$ -arvon pinnoite saavuttaa, sitä joustavampi se on. [20] Taitoksesta mitattiin myös taivutusadheesio painamalla adheesioteippi lujasti taivutettuun pintaan koko näytteen matkalle. Teippi vedettiin irti nopeasti, ja taivutusadheesio tulokseksi merkittiin se kohta, josta ei enää irtoa pinnoitetta. Taivutusadheesio  $T$ -arvo laskettiin kaavalla 6.1.



**Kuva 6.7.** Taivutettu teräsohutlevy.

*Iskutaivutustestillä* on tarkoitus testata samanaikaisesti pinnoitteen taivutuksen- ja iskunkestävyyttä eli nopeaa muodonmuutosta. Iskutaivutustesti tehtiin kuvassa 6.8 A näkyvällä Erichenin 471 iskutaivutuslaitteella. Testi ei perustu standardiin vaan kokemukseen maalipinnoitettujen ohutlevyjen tutkimuksessa.

Koelevyt leikattiin 5 x 12 cm kokoon ja esitaivutettiin kuten kiilataivutustestissä. Esitaivutettu levy asetettiin laitteen kuvassa 6.8 B näkyvän alasimen päälle. Paino päästettiin irti kahvoista vetämällä, jolloin se putosi vapaasti taivuttaen koelevyn kiilamaisesti. Iskutaivutetuille näytelevyille määritettiin  $T$ -arvo kuten kiilataivutetuille näytteille.



**Kuva 6.8.** Iskutaivutuslaitteisto (A) ja iskutaivutettunäyte alasin päällä (B).

Maalipinnoitteiden iskukestävyyttä testattiin myös *kuulanpudotustestillä*. Testillä arvioitiin pinnoitteen halkeilua, kun siihen kohdistuu putoavan painon aiheuttama muodonmuutos. Testi perustui tuotekehityslaboratorion työohjeeseen, jossa sovelletaan standardeja EN 13 523-5 (2001) ja SFS-EN ISO 6272-2 (2012). [20]

Koe suoritettiin kolmelle rinnakkaiselle koelevylle. Levyt leikattiin siten, että niiden lyhimpien sivujen pituus oli vähintään 50 mm, ja pitkät sivut vähintään 100 mm. Testilaitte on nähtävissä kuvassa 6.9. Laitteessa on 900 g painava, päästään puolipallon muotoinen, halkaisijaltaan 15,9 mm oleva pudotuspaino sekä lisäpainona 900 g:n painoinen punnus. Pudotuspaino tiputettiin koelevyn keskelle laitteen suurimmalta mahdolliselta korkeudelta 102 cm, joka vastaa iskuenergiaa 160 lbf in. Muodonmuutoksen kohtaa tarkasteltiin luupilla, jossa oli 10-kertainen suurennos.

Muodonmuutuskohdat arvosteltiin taulukon 6.2 mukaisen kuusiportaisen luokitteluasteikon perusteella. Arvosteluasteikko kehitettiin ainoastaan tätä mittausta varten. Tulos ilmoitettiin kolmen rinnakkaisen näytteen luokittelun keskiarvona.

**Taulukko 6.2.** Kuusiportainen arvosteluasteikko pinnoitteiden iskunkestävyyden arviointiin.

Luokittelu	Kuvaus
0	Ei halkeilua
1	Halkeamia korkeintaan primeriin asti
2	< 5 halkeamaa sinkkiin
3	5-10 halkeamaa sinkkiin
4	> 10 halkeamaa sinkkiin
5	Runsasta halkeilua sinkkiin koko muovatulla alueella



**Kuva 6.9.** Kuulanpudotuslaitteisto maalipinnoitteen iskunkestävyyden tutkimiseen.

## 6.5 Kovuuden ja kulutuskestävyyden testaaminen

Maalipinnoitteiden kovuutta ja kulutuskestävyyttä tutkittiin lyijykynäkovuus- ja hankaustestillä sekä erilaisilla naarmutustesteillä. Naarmutuskestävyyttä testattiin kahdella eri laitteella: ilmanpaineella toimivalla Multifunction Scratcher -laitteella ja Clemen-laitteella, jossa pinnoitteen rikkoutuminen määritetään sähkövirran avulla. Multifunction Scratcherillä tehtiin naarmutustesti neulan ja kolikon avulla.

Pinnoitteen kovuutta tutkittiin *lyijykynäkovuustestillä*. Menetelmä perustuu standardeihin ISO 15184 ja EN 13 523-4. [20] Testin tekemiseen tarvittiin lyijykynäsetti, joiden kovuudet pehmeimmästä kovimpaan olivat seuraavat:

$6B \rightarrow 5B \rightarrow 4B \rightarrow 3B \rightarrow 2B \rightarrow B \rightarrow HB \rightarrow F \rightarrow H \rightarrow H2 \rightarrow H3 \rightarrow H4 \rightarrow H5 \rightarrow H6$

Testi aloitettiin pehmeimmällä kynällä, joka käytännössä oli aina 2B. Ensin kynä teroitettiin hiomalla lyijykynän kärkeä hiomapaperiin siten, että noin 6 millimetriä lyijyä jäi näkyviin, ja kärki oli tasainen kohtisuorassa kynän akseliin nähden. Teroitettu kynä pidettiin noin 45° kulmassa koelevyyn nähden ja työnnettiin suurimmalla mahdollisella voimalla, jota voitiin käyttää murtamatta lyijyä. Jos pinnoite säilyi ehjänä, siirryttiin seuraavaan kovuusasteeseen. Pinnoite katsottiin rikkoutuneeksi, kun lyijy rikkoi vähintään 3 mm maalikalvoa ja kynän jäljen alla havaittiin sinkki tai primer. Kun pinnoite rikkoutui, merkittiin tulokseksi edellisen lyijyn kovuus eli kovimman rikkomattoman lyijyn kovuus.



*Hankauksenkestoa* tutkittiin hankaustestilaitteella. Testi oli sovellettu tuotekehityslaboratorion työohjeesta. Testilaite on rakennettu pylväsporakoneen runkoon. [20] Laite on kuvattuna kuvassa 6.10. Pylväsporakoneessa kiinni oleva kampi (1, kuvassa 6.10) liikuttaa alumiinikiskoja välissä olevaa liukulevyä (2, kuvassa 6.10). Poran kierrosnopeus oli testin aikana 56 RPM ja kammen akselin halkaisija 15 cm. Liukulevyssä olevien aukkojen (3, kuvassa 6.10) kohdalle kiinnitettiin näytteet ja niiden päälle asetettiin punnukset, joiden pohjaan oli liimattu hankauspalat.



**Kuva 6.10.** Pylväsporakoneen runkoon rakennettu hankaustestilaite. Numero 1 on kampi, numero 2 on liukulevy ja numerot 3 kuvaavat liukulevyssä olevia aukkoja, joiden kohdalle näytteet ja painot asetetaan.

Koelevyt leikattiin 50 x 150 mm:n kokoisiksi ja kiinnitettiin teipillä liukulevyn alla olevaan alustaan. Ennen varsinaista koetta testattiin, kuinka suurilla punnuksilla, missä ajassa ja mitä hankausmateriaalia käyttäen saadaan näkyvimmit erot näytteiden välille. Hankauspaloina tässä testissä käytettiin hiekkapaperia, jonka todettiin saavan aikaan tarpeeksi näkyviä eroja. Hankauspalat kiinnitettiin punnuksiin teipillä. Punnuksat voivat olla 200–1000 gramman painoisia. Tässä tapauksessa päätettiin ottaa käyttöön 1000 grammaa painavat punnuksat ja testiajaksi valittiin 45 sekuntia. Materiaalin vähäisyyden vuoksi otettiin ainoastaan kaksi rinnakkaista näytettä.

Näytteistä arvosteltiin sekä hankausjälkeä että sinkkiin asti ulottuvien naarmujen määrää. Neliportainen arvosteluasteikko on nähtävissä taulukossa 6.3. Tulos laskettiin kahden rinnakkaisen näytteen molempien arviointiin vaikuttavien tekijöiden keskiarvona, jolloin tulokseksi saatiin arvosana välillä 0-3. Käytännössä nolla oli mahdotonta saavuttaa, sillä hankausjälki jäi näkyviin aina.

**Taulukko 6.3.** Kaksiosainen, neliportainen arvosteluasteikko hankaustestin tulosten arvioimiseksi.

Luokittelu	Kuvaus: Hankausjälki
0	Hankausjälkeä ei näy ollenkaan
1	Hankausjälki näkyy läheltä heikosti tai vain tietyssä kulmassa
2	Hankausjälki näkyy läheltä selvästi ja kauempaa heikosti tai vain tietyssä kulmassa
3	Hankausjälki näkyy selvästi sekä läheltä että kaukaa
	Kuvaus: Naarmut
0	Ei yhtään naarmua sinkkiin
1	Max. 5 naarmua sinkkiin
2	6-20 naarmua sinkkiin
3	> 20 naarmua sinkkiin

*Naarmutuksenkestoa* tutkittiin kolmella eri testillä. Braive Instrumentsin Multifunction Scratcher -laitteella tehtiin sekä *neulanaarmutustesti* että *kolikkonaarmutustesti*. Braive Instrumentsin valmistamalla Clemen-laitteella tehtiin myös *neulanaarmutustesti*.

Multifunction Scratcher -laitteen toiminta perustuu paineilman hyväksikäyttöön. Laite on kuvattuna kuvassa 6.11. Paine voidaan säätää 0,1 bar:n tarkkuudella 0,2 ja 2,5 bar:n välille, joka vastaa 1300–12700 gramman suuruista massaa. [20] Valittiin terä, jota naarmutukseen haluttiin käyttää (neula 1 mm tai kolikko) ja kiinnitettiin se naarmutuslaitteen istukkaan. 100 x 150 mm:n kokoinen koelevy asetettiin magneettiselle näytetasolle siten, että naarmutus tapahtui maalaussuuntaan.



**Kuva 6.11.** Multifunction Scratcher -laite naarmutuksenkeston tutkimiseen. Laitteessa 1. on magneettinen näytetaso, 2. on istukka johon naarmutusterä kiinnitetään, 3. on ”ohjauspaneeli”, 4. on painemittari, 5. kuvaa näytetason lukituskahvoja, jotka ovat laitteen takana, 6. on näytetason magneettia ohjaavan säätökahvan paikka ja 7. on laitteen takana oleva paineilmaventtiili. [20]

*Neulanaarmutus* aloitettiin aina paineella 0,2 bar. Tehtiin kaksi naarmua samalla paineella. Jos pinnoite kesti molemmat naarmut, nostettiin painetta 0,1 bar ja toistettiin koe. Jos pinnoite rikkoutui vain toisen naarmun kohdalla, tehtiin vielä yksi naarmu siten, että vähintään kaksi naarmua rikkoi pinnoitteen. Pinnoitteen ei tarvinnut rikkoutua koko naarmun matkalta. Kokeessa testattiin sekä pintamaalin rikkoutumista että koko pinnoitesysteemin rikkoutumista metallipinnoitteeseen asti. Jos pinnoitekerroksia oli kolme, ajateltiin pintamaalin olevan kaksi ensimmäistä kerrosta yhdessä. Tulokseksi merkittiin viimeisin massa, jonka pinnoite tai pinnoitesysteemi kesti. Naarmujen kummastakin päästä jätettiin arvostelematta noin 15 mm.

*Kolikkonaarmutustestissä* todettiin, ettei edes 2,5 bar:n paineella saada maalipinnoitetta rikki suurimmasta osasta näytteitä. Tämän vuoksi kolikkonaarmutustesti tehtiin siten, että kaikkiin levyihin tehtiin kolme naarmua 2,5 bar:n paineella ja arvosteltiin tulokset taulukon 6.4 mukaisella viisiportaisella arvosteluasteikolla.

**Taulukko 6.4.** *Kolikkonaarmutustestin viisiportainen arvosteluasteikko.*

Luokittelu	Kuvaus
0	Ei jälkeä, tai erittäin himmeästi, vain tietystä kulmasta katsottuna näkyvä jälki.
1	Jälki näkyy selvästi tietystä kulmasta katsottuna.
2	Jälki näkyy selvästi, ja värieroa on havaittavissa.
3	Selkeä väriero havaittavissa, ja jälki osittain primeriin asti.
4	Pinnoite on selkeästi hajonnut primeriin tai jopa sinkkiin asti.

Clemen-naarmutuslaitteessa määritetään pinnoitteen rikkoutuminen sähkövirran avulla. Clemen-laite on kuvattuna kuvassa 6.12. Kokeessa katsottiin pinnoitteen rikkoutuneen, kun naarmutusneula muodosti sinkkipinnan kanssa sähköisen kontaktin, jonka jännite oli yli 10 voltia. Pinnoitteeseen kohdistuvaa voimaa säädettiin punnusten avulla 100 g välein. Testi aloitettiin yleensä kunkin pinnoitteen kohdalla 1000 gramman massalla, paitsi jos pinnoite oli rikkoutunut Multifunction Scratcherillä tehdyssä testissä jo 0,2 bar:n paineella. Tällöin testi aloitettiin 500 gramman massalla. Tulokseksi kirjattiin se massa, jonka pinnoite kesti rikkoutumatta.



**Kuva 6.12.** Clemen-naarmutuslaite. [52]

Clemen-laitteen käytössä on havaittu puutteita, minkä vuoksi nykyään Ruukilla määritetään pinnoitteiden naarmunkestävyys pääasiassa Multifunction Scratcher -laitteella. Clemenin puutteita ovat muun muassa naarmutusjäljen arviointi sekä näytteen valmistus. Mitattavasta näytteestä tuli aina poistaa taustamaali, jotta levy johti sähköä. Pienikin määrä taustamaalia saattoi vääristää tuloksen. Naarmutusjäljen silmämääräinen arviointi oli vaikeaa, sillä esimerkiksi mattapinnoitteiden epätasaisuus aiheutti pinnoitteeseen naarmuja, vaikka pinnoite kesti kyseisen naarmutusmassan. [52]

## 6.6 Pinnoitteen kovettumisen onnistumisen ja adheesion testaaminen

Maalikalvon kovettumisen onnistumista sekä kykyä vastustaa voimakasta liuotinrasitusta testattiin kahdella kokeella. *Stripper-kokeessa* pinnoitteeseen viillettiin veitsellä perusaineen pintaan asti ulottuva ristiviilto. Ristiviillon päälle tiputettiin pieni määrä Stripper 100 -maalinpoistoainetta. Samalla käynnistettiin sekuntikello. Pinnoitetta tarkkailtiin 60 sekunnin ajan, minkä jälkeen aine pyyhittiin pois. Jos maali kesti kuplimatta 60 sekuntia, voitiin todeta kovettumisen onnistuneen. Jos pinnoite kupli ja kuoriutui pyyhkimisen yhteydessä enemmän kuin yhden millimetrin ristiviillosta, voitiin katsoa kovettumisessa olleen häiriötä.

Kaikkien pinnoitteiden oletettiin kestävän 60 sekuntia. Jos pinnoite ei kestänyt koko aikaa, testattiin viiden sekunnin tarkkuudella, kuinka pitkän ajan se kestää. Jos pinnoite alkoi kuplia alle 30 sekunnin kuluttua, voitiin todeta kovettumisessa olleen suuria häiriöitä.

*MEK-* eli metyylietyyliketoni on liuotin, jota voidaan käyttää maalinpoistoaineena. MEK-testissä laboratoriopyyhkeeseen imeytettiin MEK-liuosta, ja hangattiin sillä koelevyn maalipintaa 25 edestakaista kertaa. Jos pinnoite kesti hankauksen, jatkettiin aina 100 edestakaiseen hankaukseen asti lisäten 25 hankauksen välein MEK-liuosta

pyyhkeeseen. Tulokseksi merkittiin se määrä hankauksia, jonka pinnoite kesti ilman, että pohjamaali tai perusaine tuli näkyviin.

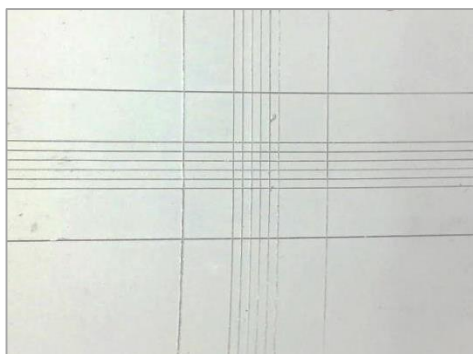
Molemmat testit tehtiin vetokaapissa suojahansikkaat kädessä. Stripper-kokeen testausmenetelmä ei perustu standardiin, vaan kokemukseen maalipinnoitteiden liuottimenkestävyydestä. MEK-kokeessa noudatettiin soveltuvin osin standardia SFS-EN 13523–11. Menetelmät soveltuvat kaikille liuotinpohjaisille maalipinnoitteille, mutta MEK-kokeen tapauksessa vain, jos pinnoitteen kalvonpaksuus on korkeintaan 60 µm.

Ohutkalvopinnoitteen, jonka pinnoitepaksuus on korkeintaan 120 µm, adheesiota pohjamaaliin ja substraattiin testattiin *hilaristikko*-kokeella. Menetelmä perustuu soveltuvin osin standardiin SFS-EN ISO 2409. Työkaluna käytettiin Elcometerin kuusiteräistä leikkuria, joka on kuvattuna kuvassa 6.13. Terien keskinäinen etäisyys vaihtelee yhdestä kahteen millimetriä, ja sitä muutetaan pinnoitepaksuuden mukaan niin, että mitä paksumpi pinnoite, sitä suurempi terien välinen etäisyys. Tässä tapauksessa, kun kaikki pinnoitesysteemit olivat alle 60 µm, terien välinen etäisyys oli 1 mm.



**Kuva 6.13.** *Hilaristikkoleikkuri maalipinnoitteen adheesion testaamiseen.*

Leikkurin terät painettiin tasaisella voimalla 90° kulmassa koelevyä vastaan. Pinnoitteeseen viillettiin kaksi toisiaan kohtisuorassa olevaa viiltoa niin, että keskikohtaan muodostui 5 x 5 neliön ristikko, kuten kuvassa 6.14 näkyy. Kaikkien leikkausurien tuli ulottua perusaineeseen asti. Seuraavaksi ruudukon päälle yhdensuuntaisesti toisen viillon kanssa liimattiin teippi voimakkaasti painaen, jotta varmistettiin hyvä tartunta pinnoitteeseen. Teippi repäistiin nopeasti irti pinnoitteesta noin 60° kulmassa.



**Kuva 6.14.** Leikkurilla tehty hilaristikko. Adheesio määritetään sen perusteella, kuinka paljon pinnoitetta irtoaa ruudun keskellä olevasta 25 pienen ruudun muodostamasta ristikosta.

Testin tulos eli pinnoitteen adheesio arvosteltiin taulukossa 6.5 esitetyn kuusiportaisen luokittelun perusteella. Arvostelussa käytettiin apuna 10 kertaa suurentavaa luuppia. Jos pinnoite irtosi ainoastaan primeriin, merkittiin numeroarvosanan perään ”p”.

**Taulukko 6.5.** Adheesiotestin tulosten arviointi.

Luokittelu	Kuvaus	Ulkonäkö
0	Leikkausurien reunat ovat täysin tasaiset; yksikään ristikon ruuduista ei ole irronnut.	-
1	Pientä hilseilyä urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta korkeintaan 5 % on vaurioitunut.	
2	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta ja leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut selvästi enemmän kuin 5 % mutta ei enempää kuin 15 %.	
3	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina, ja/tai se on hilseillyt osittain tai kokonaan ruutujen eri osista. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut selvästi enemmän kuin 15 % mutta ei enempää kuin 35 %.	
4	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina, ja/tai joitain ruutuja on irronnut osittain tai kokonaan. Leikkausristikon alueesta vaurioitunut selvästi enemmän kuin 35 % mutta ei enempää kuin 65 %.	
5	Mikä tahansa hilseily, jota ei voida luokitella edes luokitteluasteen 4 mukaisesti.	-

## 7 TESTAUSTULOKSET

Tässä luvussa on esitetty laboratoriomaalattujen näytteiden testaustulokset sekä arvioitu maalauksen onnistumista. On huomionarvoista, että esitelty tulokset perustuvat yksittäisen laboratoriomaalaussarjan testaukseen. Näin ollen pinnoitteet ovat keskenään vertailukelpoisia, mutta tulokset eivät edusta absoluuttisesti pinnoitteiden ominaisuuksien arvoja. Testitulosten perusteella näytteet on pisteytetty kategorioiden Flex ja Robust mukaisesti. Hot-kategorian pinnoitteita saatiin testattavaksi ainoastaan kaksi, joista molemmat samalta toimittajalta, joten vertailua ei pystytty suorittamaan, vaan Hot-pinnoitteet luokiteltiin Flex- ja Robust-kategorioihin. Deco-efekti pinnoitteessa tuo sille lisäarvoa, mutta ei poista mekaanisten ominaisuuksien merkitystä, minkä vuoksi myös Deco-pinnoitteet on arvosteltu niiden mekaanisten ominaisuuksien perusteella. Deco-efekti ja muut lisäarvoa tuovat ominaisuudet pisteytettiin erikseen.

Näyte 1 on väritön läpikuultava kirkaslakka sinkkipinnoitteen päällä. Näytteestä oli erittäin haastavaa tulkita mekaanisten testien tuloksia. Sen vuoksi pyydettiin maalintoimittajaa lähettämään väripastaa, joka sekoitettiin lakkaan ja maalattiin uudelleen (näyte 17). Näytteissä 2 ja 16 on Ruukin struktuuripolyesteripinnoite. Näyte 2 maalattiin uudelleen (näyte 16), koska sen mekaanisten testien tulokset olivat yllättävän huonoja verrattuna tyypillisiin struktuuripolyesterin ominaisuuksiin. Maalauksen epäiltiin epäonnistuneen jollain tavalla. Näytteissä 9, 30 ja 31 on Ruukin ARS-polyesteripinnoite. Näyte 9 maalattiin ensimmäisessä maalaussarjassa referenssiksi. Näytteet 30 ja 31 maalattiin referenssiksi, koska neljännen ja viidennen maalaussarjan välissä jouduttiin vaihtamaan substraattierää ja haluttiin poistaa vaihdoksesta aiheutuva virheen mahdollisuus.

### 7.1 Visuaaliset ominaisuudet, kalvonpaksuus ja maalauksen onnistuminen

Tässä työssä kiillon ja värin numeerisia arvoja tärkeämpää on näytteiden visuaalinen arviointi. Tässä luvussa on arvioitu silmämääräisesti näytteiden visuaalisia ominaisuuksia, kuten väriä, kiiltoa ja pinnan muotoa. Lisäksi näytteistä mitattiin väri- ja kiiltoarvot, jotka ovat taulukoituna liitteessä 4. Samassa taulukossa on tiivistettynä näytteiden ulkonäön sanallinen arviointi. Tässä luvussa arvioidaan myös maalauksen onnistumista pinnan laadun ja toteutuneen kalvonpaksuuden kannalta.

Näytteissä 1 ja 17 on VC Deco 1 -kirkaslakkapinnoite. Näyte 1 on väritön, ja näytteessä 17 on pinnoitteeseen sekoitettu violetin väristä sävypastaa. Molempien näytteiden pinta on sileä ja korkeakiiltoinen. Alla olevan sinkkipinnan kuviointi näkyy lakkakerroksen

läpi. Näytteiden pinnassa on muutamia kuplia, mutta muuten pinta näyttää virheettömältä. Näytteestä 1 ei mitattu värin ja kiillon numeerisia arvoja eikä kalvonpaksuutta.

Näytteet 2 ja 16 ovat Ruukin struktuuripolyesteripinnoitetta. Näytteiden ulkonäkö ei eroa toisistaan. Pinnoite on lämpimän valkoinen, ja valkoisen pohjamaalin päällä oleva kirkaslakka tuo pinnoitteeseen kiiltoa. Verrattuna linjalla maalattuun struktuuripolyesteriin, struktuuria on vähemmän. Laboratoriomaalattu pinta on kuin siinä olisi reikiä tasaisen struktuurin sijaan. Näyte 3 on Ruukin Pural-pinnoite. Valkoisessa pintamaalissa on partikkeleilla luotu loiva, tiheä struktuuri. Pural-pinnoitteen ulkonäkö on hyvin lähellä vastaavaa linja-ajettua.

Näytteissä 4 ja 11 on VC Robust 2 -pinnoite. Näytteen 11 alla oleva primer ei vaikuta pinnoitteen ulkonäköön. Pinnoite on musta, ja siinä on päällä rypytyvä kirkaslakkakerros. Struktuuri on loivempaa ja tiheämpää kuin näytteissä 2 ja 16, eikä pinnoite ole yhtä kiiltävä. Molempien pinnoitteiden kohdalla useassa rinnakkaisessa näytteessä näkyy laboratoriomaalatuille näytteille tyypillisiä pitkittäisiä viiruja, jotka syntyivät maalattaessa päällimmäistä lakkakerrosta. Toimittajalta saatuu mallipalaan verrattuna struktuuri on matalampi, eikä pinnoitteessa ole samanlaista kristallimaista säihkettä. Näytteessä 28 on BIC Deco 6 -pinnoite. Pinnoite on ulkonäöltään hyvin samanlainen kuin näytteissä 4 ja 11, mutta pintalakan struktuuri on isompaa. Maalintoimittajilta saadut mallipalat ovat keskenään melko samannäköisiä, mutta laboratoriomaalattujen näytteiden struktuuri eroaa toisistaan. Näytteessä 28 struktuuri on onnistuneempi.

Näytteet 5 ja 6 ovat VC Robust 1 ja VC Robust/Deco -pinnoitteet. Näytteessä 5 on musta pinnoite ja näytteessä 6 harmaa metallinhohtoinen pinnoite. Näyte 42 on BASF Flex/Robust 2. Se on kolmekerroksinen pinnoitesysteemi, jossa primerin päälle on levitetty musta pohjamaali ja kirkaslakka. Kaikki pinnoitteet ovat hyvin korkeakiiltoisia. Näytteissä on sileä pinta, eikä pintavirheitä ole havaittavissa. Kaikkien näytteiden ulkonäkö on hyvin lähellä toimittajilta saatujen mallipalojen ulkonäköä, joskin metallinhohtoisessa pinnoitteessa sävy on hieman eri.

Näyte 7 on Ruukin musta Purex-pinnoite, näytteet 9, 30 ja 31 ovat Ruukin mustia ARS-polyesteripinnoitetta, ja näyte 10 on harmaa VC Robust 3 -pinnoite. Kaikki pinnoitteet ovat partikkelistrukturoituja ja keskenään hyvin samannäköisiä. Suurin ero on pinnoitteiden kiiltoaste. Näytteissä 9, 30 ja 31 kiiltoaste on hyvin matala ja pinta näyttää mattamaiselta verrattuna näytteisiin 7 ja 10. Näyte 7 on hieman korkeakiiltoisempi kuin 9, 30 ja 31, mutta näytteen 10 kiiltoaste on huomattavasti muita korkeampi. Kaikkien pinnoitteiden ulkonäkö on samanlainen kuin linjamaalatuissa tai maalintoimittajalta saaduissa mallipaloissa. Näytettä 10 ei voitu maalata magneettipöydän päällä, sillä se raidoittui magneetin vaikutuksesta.



Näytteet 8, 36 ja 37 ovat sileitä, valkoisia pinnoitteita. Näyte 8 on VC Flex -maalialla. Näytteet 36 ja 37 ovat KCC Flex -pinnoitetta, mutta niissä on alla eri primer. Kaikki pinnoitteet ovat hyvin korkeakiiltoisia. Esimerkiksi verrattuna Ruukin korkeakiiltoiseen polyesterimaaliin ero on silminnähtävä. Pinnoitteet näyttävät samalta kuin niitä vastaavat toimittajilta saadut mallipalat.

Näytteissä 12 ja 13 on KCC Deco 1 -pinnoite. Näytteen 12 alla oleva primer ei vaikuta pinnoitteen ulkonäköön. Pinnoitteessa on mustan pohjamaalin päällä vihreästä punaiseen voilettiin taittuva helmiäislakka, joka on nähtävissä kuvassa 7.1. Pinta on sileä. Pinnoitteen ulkonäkö on melko samanlainen kuin toimittajalta saadussa mallipalassa, mutta laboratoriomaalatuissa näytteissä värit ovat hieman kirkkaammat. Helmiäispinnoitteessa lakan kalvonpaksuus vaikuttaa pinnoitteen sävyyn. Lisäksi monessa laboratoriomaalatussa näytteessä on tietystä kulmasta katsottuna havaittavissa isohkoja, halkaisijaltaan  $> 1$  cm, kokoisia tummempia läikkiä sekä muutamia kuplia. Helmiäislakkaa ei voitu maalata magneettitason päällä, sillä pinnoite raidoittui magneetin vaikutuksesta.

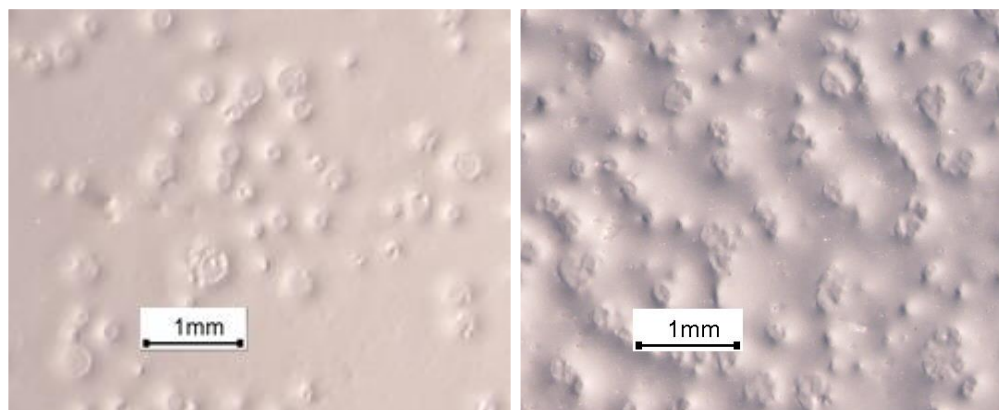


**Kuva 7.1.** Väriä vaihtava helmiäislakka näytteessä 13 (KCC Deco 1 B).

Näytteet 14 ja 15 ovat KCC Robust 1 -pinnoitetta. Näytteen 14 alla oleva primer ei vaikuta pinnoitteen ulkonäköön. Pinnoite on mustaa ja normaalikiiltoista. Näytteet 18 ja 19 ovat BIC Flex 1 ja BIC Flex 2 -pinnoitteet. Näyte 18 on valkoinen, normaalikiiltoinen ja näyte 19 beige, korkeakiiltoinen pinnoite. Kaikissa näytteissä pinta on sileä ja virheetön lukuun ottamatta muutamia kuplia. Pinta näyttää samalta kuin mallipalassa.

Näytteet 20 ja 21 ovat BIC Robust 1 ja BIC Robust 2 -pinnoitteet. Näytteessä 20 on alla metallinhohtoinen vaaleanharmaa pohjamaali. Näytteessä 21 pohjamaali on valkoinen. Molemmissa näytteissä pohjamaalin päällä on strukturoidun pinnan aiheuttava kiiltävä kirkaslakka. Näytteen 21 pinta on samannäköinen kuin mallipalassa, ja lisäksi näyttää

samalta kuin Ruukin linjamaalattu struktuuripolyesteri. Näytteen 20 pohjamaalissa on runsaasti tummia pisteitä, ikään kuin pieniä kuplia, ympäriinsä näytelevyä. Nämä pintavirheet viittaavat siihen, että maalauksessa meni jotain pieleen. Päällä oleva kirkaslakka näyttää kuitenkin samalta kuin näytteessä 21. Kuvassa 7.2. on stereomikroskoopilla otetut kuvat näytteistä 16 ja 21, eli struktuuripolyesteri ja BIC Robust 1, joiden pitäisi olla suurin piirtein samannäköisiä.



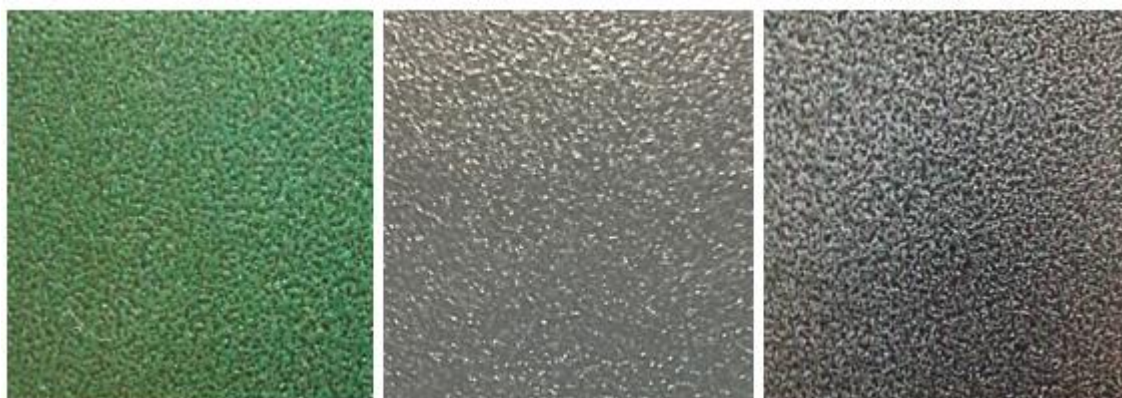
**Kuva 7.2.** Vasemmalla näyte 16 (struktuuripolyesteri) ja oikealla näyte 21 (BIC Robust 1). Näytteessä 16 struktuuri on selvästi harvempaa ja loivempaa kuin näytteessä 21.

Näytteet 22, 25 ja 27 ovat BIC Deco 1, 3 ja 5 -pinnoitteet. Näytteessä 22 on mustan pohjamaalin päällä struktuurinen kirkaslakka, jossa on kullan ja punaisen värisiä kimallepigmenttejä. Näytteessä 25 on punaisen pohjamaalin päällä vaaleaa kimalletta sisältävä lakka. Näytteen 27 pohjamaali on sinisenvioletti, ja struktuurilakassa on pinkkejä kimallepigmenttejä. Näytteiden 25 ja 27 ulkonäköä on havainnollistettu kuvassa 7.3. Pinnoitteet ovat normaalikiiltoisia ja näyttävät samalta kuin vastaavat näytepalat, lukuun ottamatta muutamia näytteen 27 rinnakkaisnäytteitä, jossa pinnassa näkyy valkoisia suuria, halkaisijaltaan  $> 1$  cm, kokoisia läikkiä, jotka luultavasti aiheutuivat ryppyylakan liian suuresta märkäkalvonpaksuudesta niillä kohdilla.



**Kuva 7.3.** Beckersin Deco-pinnoitteita. BIC Deco 3 (näyte 25) ja BIC Deco 5 (näyte 27).

Näytteet 23, 26 ja 29 ovat myös koristeellisia pinnoitteita. Näytteet 23 ja 26 ovat BIC Deco 2 ja 4 -pinnoitteet ja näyte 29 on VC Deco 2 -pinnoite. Näytteissä 23 ja 29 on mustan pohjamaalin päällä metallinhohtoinen struktuurilakka, joka näytteessä 23 on vihreä ja näytteessä 29 hopea. Näytteessä 26 pohjamaali on harmaa, ja sen päällä oleva struktuurinen lakka on hopeanvärinen ja kimallepigmentoitu. Kaikki pinnoitteet näyttävät osittain samalta kuin toimittajien mallipaloissa, mutta kaikkien pinnoitteiden kohdalla osassa rinnakkaisista näytteistä esiintyy samanlaista struktuurilakan kasaantumista kuin näytteessä 27. Näyte 29 on huomattavasti kiiltävämpi kuin muut näytteet. Pinnoitteiden ulkonäköä on havainnollistettu kuvassa 7.4.



**Kuva 7.4.** Beckersin ja Valsparin Deco-pinnoitteita. Vasemmalta oikealle BIC Deco 2, BIC Deco 4 ja VC Deco 2.

Näyte 24 on BIC Flex/Robust -pinnoitetta. Pintamaali on valkoinen, sileä ja korkeakiiltainen ja sen alla oleva pohjamaali aiheuttaa pinnoitteelle loivan struktuurin. Pinta on täynnä pieniä kuplia, jollaisia ei ole Beckersin toimittamassa mallipalassa. Kuplat ovat luultavasti seurausta epäonnistuneesta kovetuksesta.

Näytteet 32–35 ovat kaikki KCC:n toimittamia, sileitä ja valkoisia pinnoitteita. Näytteet ovat ulkonäöltään hyvin samanlaisia kuin Ruukin normaali sisäkäyttöinen polyesterimaali sekä näyte numero 18. Valkoisen sävyt poikkeavat toisistaan hieman. Lisäksi näytteet 32 ja 33 ovat kiiltoasteeltaan hieman muita mattamaisempia. Näytteistä ei toimitettu mallipaloja, joten ulkonäköä ei voida verrata niihin.

Näytteet 38–41 ovat erisävyisiä KCC Deco 2 -pinnoitteita. Pinnoitteet ovat läpikuultavia kirkaslakkoja, jotka on maalattu näytteiden 1 ja 17 tavoin suoraan esikäsitellyn sinkkipinnan päälle. Näyte 38 on sävyltään vaaleanharmaa, näyte 39 vaaleansininen, näyte 40 vaaleanpunainen ja näyte 41 vaaleanoranssi. Pinnoitteet ovat metallinhohtoisia, ja niiden pinnassa on rakeinen, karhea struktuuri. Näytteistä ei toimitettu mallipaloja, joten ulkonäköä ei voida verrata niihin. Näyte 40, eli vaaleanpunainen pinnoite on kuvattuna kuvassa 7.5.





**Kuva 7.5.** Laboratoriomaalattu KCC Deco 2 C -pinnoite. Pinnoite on haalean punainen läpikuultava lakka, joka applikoitiin suoraan esikäsitellyn, sinkityn terässubstraatin päälle.

Kalvonpaksuuden mittauksissa päti yleisesti, että sileiden pinnoitteiden kalvonpaksuuden keskihajonta oli enimmillään  $2,0\ \mu\text{m}$  ja keskimäärin  $1,6\ \mu\text{m}$ . Tavoitteellisen ja toteutuneen kalvonpaksuuden näytteiden välisen erotuksen keskiarvo sileillä pinnoitteilla oli  $2,8\ \mu\text{m}$ . Strukturoiduilla pinnoitteilla hajonta oli jopa  $5,2\ \mu\text{m}$  ja keskimäärin  $3,2\ \mu\text{m}$ , ja tavoitteellisen ja toteutuneen kalvonpaksuuden erotuksen keskiarvo oli  $3,7\ \mu\text{m}$ . Kalvonpaksuuden erotuksilla oli siis jonkun verran eroa strukturoitujen ja sileiden pinnoitteiden välillä, ja hajonnassa ero oli vielä suurempi.

Ero johtuu osin siitä, että struktuuripinnoitteen pinta on epätasainen sisältäen niin sanottuja laaksoja ja huippuja (pinnan muoto näkyy hyvin esimerkiksi kuvassa 7.2), joiden välillä kalvonpaksuus vaihtelee useita mikrometrejä. Kalvonpaksuusmittarin anturi mittaa pinnoitteen kalvonpaksuuden hyvin pieneltä, halkaisijaltaan  $< 1\ \text{mm}$  alueelta, jolloin mittaus saattaa osua minne tahansa huipun ja laakson väliin. Ilmiö vaikuttaa osaltaan myös maalauksen onnistumiseen. Lisäksi hajontaa kalvonpaksuuden mittaustulokseen aiheuttaa ylipäättään laboratoriomaalauksesta johtuva epätasainen kalvonpaksuus. Kalvonpaksuuteen ja sen mittaamiseen liittyvää virhettä on arvioitu luvussa 9.3.

Liitteessä 4 on taulukoituna kaikkien näytteiden toteutuneet kalvonpaksuudet sekä erotus tavoitekalvonpaksuuteen prosentteina.

## 7.2 Joustavuus ja muovattavuus

Pinnoitteiden joustavuutta ja muovauksenkestoa testattiin kiilataivutus-, iskutaivutus- ja kuulanpudotustesteillä. Menetelmät on esitelty luvussa 6.4. Kaikkien testien tulokset on

esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 5. Tulokset on pyöristetty yhden desimaalin tarkkuudelle. Tuloksia tarkastellaan niin, että mitä pienempi T-arvo kiilataivutuksessa (T-bend) ja iskutaivutuksessa (Isku (KA)) saatiin, sitä joustavampi pinnoite on. Mitä pienempi luku kuulanpudotuksen (Kuula (KA)) tuloksena on, sitä joustavampi on pinnoite. Tulosten perusteella luotiin joustavuudelle raja-arvot siten, että kussakin testissä raja-alueen sisälle jäi noin puolet näytteistä. Raja-arvot määriteltiin seuraavalla tavalla:

- Kiilataivutus: T-arvo korkeintaan 1,9T
- Iskutaivutus: Kolmen iskun keskiarvon (KA) T-arvo korkeintaan 2,2T
- Kuulanpudotus: Kolmen kuulanpudotuksen tulosten keskiarvo (KA) korkeintaan 0,7

Flex-kategoriaan luokiteltiin maalintoimittajien kuvausten perusteella kahdeksan pinnoitetta, joista yhdestä maalattiin kaksi versiota. Näytteiden testaustulokset ovat taulukossa 7.1.

**Taulukko 7.1.** Flex-kategoriaan luokiteltujen pinnoitteiden joustavuus- ja muovattavuustestien tulokset.

Näyte	Nimi	T-bend	Isku (KA)	Kuula (KA)
3	Pural	1.0	2.2	0.7
7	Purex	1.0	1.8	0.0
8	VC Flex	1.9	2.9	3.0
18	BIC Flex 1	0.0	0.7	0.0
19	BIC Flex 2	0.0	2.4	1.7
24	BIC Flex/Robust	2.4	2.0	2.0
36	KCC Flex A	1.2	2.5	0.0
37	KCC Flex B	2.5	3.0	2.0
42	BASF Flex/Robust 2	3.8	4.3	1.0

Tulosten perusteella suurin osa Flex-kategoriaan luokitelluista pinnoitteista pärjasi hyvin ainakin yhdessä testeistä. Kuitenkin näytteiden 24, 37 ja 42 tulokset olivat kaikissa testeissä raja-arvoja huonompia. Myös näytteen 8 tulokset ovat huomattavasti huonompia kuin muiden näytteiden.

Kun ennalta suunniteltua kategoriointia ei huomioida, parhaiten joustavuustesteissä pärjasi osa Flex-pinnoitteista sekä osa Robust-pinnoitteista. Myös jotkut Deco-pinnoitteet saavuttivat yllättävän hyviä tuloksia. Joustavuustesteissä kaikkien raja-arvojen sisään päässeet näytteet ovat taulukossa 7.2.

**Taulukko 7.2.** Joustavuustesteissä parhaiten pärjänneet näytteet.

Näyte	Nimi	T-bend	Isku (KA)	Kuula (KA)
3	Pural	1.0	2.2	0.7
5	VC Robust 1	1.9	2.2	0.0
7	Purex	1.0	1.8	0.0
9	ARS-polyesteri A	1.2	2.2	0.0
15	KCC Robust 1 B	1.7	1.4	0.7
18	BIC Flex 1	0.0	0.7	0.0
20	BIC Robust 1	1.3	1.9	0.0
30	ARS-polyesteri B	0.9	1.6	0.0
31	ARS-polyesteri C	1.0	1.7	0.0
38	KCC Deco 2 A	1.0	1.8	0.0
39	KCC Deco 2 B	1.6	1.8	0.0
41	KCC Deco 2 D	1.9	2.1	0.0

Näistä näytteet 3, 7 ja 18 ovat etukäteen arvioitu kuuluvan luokkaan Flex. Näytteet 3 ja 7 ovat Ruukin Pural ja Purex -pinnoitteet. Pinnoitteiden kiilataivutustulokset ovat parhaasta päästä (1,0T), mutta iskutaivutustulokset hieman heikommät verrattuna muihin taulukossa 7.2 oleviin pinnoitteisiin. Ruukin tuoteportfolion mukaan Puralin pitäisi kestää kuulanpudotus 160 lbf in, mutta tässä testissä pinnoite ei kestänyt. Näyte 18 on BIC Flex 1 -pinnoite, joka pärjäsi kaikissa testeissä parhaiten.

Lisäksi hyvin pärjänneitä pinnoitteita ovat Ruukin ARS-polyesteri, KCC:n Robust 1 B -pinnoite, kolme neljästä KCC:n Deco 2 -pinnoitteesta ja BIC Robust 1 -pinnoite, jossa on metallipigmentoitu pohjamaali sekä VC Robust 1 -pinnoite. Kolmen eri ARS-polyesterinäytteen kiila- ja iskutaivutustulokset vaihtelivat hieman, mutta ovat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan. Pinnoite kesti hyvin kuulanpudotuksen.

Kaikki KCC:n pinnoitteet, jotka pääsivät raja-arvojen sisään, ovat yksikerroksisia. Toisaalta maalaussarjassa oleva Valsparin yksikerroksinen VC Deco 1 -pinnoite sai kuulanpudotuksessa yhden huonoimmista tuloksista (4,0), vaikka muut joustavuustestien tulokset olivat raja-arvojen sisällä. KCC Deco 2 C -pinnoite ei päässyt joustavimpien pinnoitteiden joukkoon, sillä sen kiilataivutustulos oli muita huonompi (2,5T).

Primerin vaikutusta joustavuuteen ja muovattavuuteen voidaan arvioida näyteparien 4 ja 11 (VC Robust 2), 12 ja 13 (KCC Deco 1), 14 ja 15 (KCC Robust 1) sekä 36 ja 37 (KCC Flex) avulla. Näyteparin 4 ja 11 kohdalla näytteen 11 kaikki tulokset ovat hieman paremmat kuin näytteen 4. Näytteessä 11 pinnoitteessa värikerroksen alla on Ruukin yleisprimer. Näin ollen voidaan todeta, että primer paransi kaikkia tuloksia. Näyteparin 12 ja 13 kohdalla kiila- ja iskutaivutustulokset ovat samat tai hyvin lähellä toisiaan, mutta kuulanpudotustestin tulos on huomattavasti parempi näytteellä 13, jossa värikerroksen alla on Ruukin yleisprimer. Kun verrataan näyteparia 14 ja 15, näytteen 14 (pinnoitteen alla primer) tulokset kiila- ja iskutaivutuksessa ovat paremmat, mutta kuulanpudotuksessa

primerillinen pinnoite pärjasi huomomin. Käytetty primer on KCC:n oma, kyseiseen pinnoitesysteemiin tarkoitettu. Näyteparissa 36 ja 37 näytteessä 36 KCC Flex pinnoitteen alla on Ruukin yleisprimer ja näytteessä 37 KCC:n oma, kyseiseen pinnoitesysteemiin tarkoitettu primer. Näytteellä 37 kaikki joustavuustestien olivat huonompia kuin näytteellä 36.

Kalvonpaksuuden vaikutusta joustavuuteen tutkittiin kuvaajien avulla. Piirrettiin kolme kuvaajaa, joissa x-akselilla oli kalvonpaksuus ja y-akselilla kuulanpudotus-, kiilataivutus-, ja iskutaivutustestien tulokset, kukin omassa kuvaajassaan. Kuvaajat ovat nähtävissä liitteessä 6. Tasapuolisen vertailun vuoksi tutkimukseen otettiin mukaan ainoastaan kaksikerroksiset pinnoitteet. Jos kalvonpaksuus olisi suoraan verrannollinen joustavuuteen, kuvaajiin muodostuisi lineaarinen suora. Kaikista kuvaajista voidaan kuitenkin havaita, ettei pinnoitteiden kalvonpaksuus ole millään tavalla verrannollinen niiden joustavuusominaisuuksiin.

Struktuuripartikkelien vaikutusta pinnoitteeseen voidaan arvioida Pural-, Purex-, ARS-polyesteri- ja VC Robust 3 -pinnoitteiden avulla. Struktuuripartikkeleita sisältävät Ruukin Pural-, Purex- ja ARS-polyesteripinnoitteet pärjäsivät kaikissa testeissä erityisen hyvin, kuten taulukosta 7.2 voi nähdä. Kuitenkin VC Robust 3 -pinnoitteella kaikki joustavuustestien tulokset ovat raja-arvoja huonompia.

Erityisen huonosti testeissä pärjäsivät KCC Hot 1 ja 2 -pinnoitteet, KCC Robust 3, sekä Ruukin struktuuripolyesteri. Näiden pinnoitteiden kuulanpudotustestien tulokset ovat 4,7–5,0 ja taivutustestien T-arvot 2,7–5,6. Struktuuripolyesteri (näyte 2) maalattiin uudelleen, koska sen joustavuustestien tulokset ovat huomattavasti huonommat kuin Ruukin tuoteportfolion mukaiset kiilataivutus- ja kuulanpudotuskestävyyksien arvot. Kuitenkin toisella kerralla maalatun näytteen 16 tulokset ovat jopa huonommat kuin näytteen 2.

Joustavuustesteissä säröilyn tulkinta perustuu osittain siihen, että rikkoutuneen maalin alta näkyy kimaltava sinkkipinnoite. Joidenkin Deco-pinnoitteiden kohdalla kimaltavat metalli- tai helmiäispartikkelit vaikeuttivat tulosten tulkintaa. Muun muassa KCC Deco 2 -pinnoitteiden tulosten tulkinta oli erityisen haastavaa, sillä ehjänäkin pinnoite näyttää säröiseltä, ja sinkki näkyy pinnoitteen alta.

### **7.3 Kovuus ja kulutuskestävyys**

Maalipinnoitteiden kovuutta ja kulutuksenkestoa tutkittiin lyijykynäkovuus- ja hankaustestillä sekä erilaisilla naarmutustesteillä. Testausmenetelmät on esitelty luvussa 6.5. Kaikkien testien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 7. Neulanaarmutustestien tuloksia tarkastellaan siten, että mitä suurempi luku (grammaa) tuloksena on, sitä kestävämpi pinnoite on. Lyijykynäkovuuden arvosteluasteikko on

esitetty luvussa 6.5. Hankaus- ja kolikkonaarmutustestissä taas pienempi tulos viittaa kestävämpään pinnoitteeseen. Kuten joustavuudelle, myös kulutuskestävyydelle määriteltiin tulosten perusteella raja-arvot seuraavalla tavalla:

- Neulanaarmutus: Naarmu primeriin vähintään 1300 g ja naarmu sinkkiin vähintään 2100 g
- Neulanaarmutus Clemen-laitteella: Naarmu sinkkiin vähintään 1800 g
- Lyijykynäkovuus: Vähintään HB
- Hankaus: Kahden hankaustäytteen tulosten keskiarvo korkeintaan 2,00
- Kolikkonaarmutus: Korkeintaan 3

Koska kulutuskestävyystestejä oli useita, testikohtainen rajausta piti suorittaa löysemmillä kriteereillä kuin joustavuustestien kohdalla. Markkinatutkimuksen perusteella naarmunkestävyys on tärkein kulutuskestävyyteen liittyvä ominaisuus, joten sen tulosten avulla rajattiin näytteet niin, että jäljelle jäi noin puolet. Lyijykynäkovuuden ajateltiin olevan seuraavaksi tärkein ominaisuus. Kuitenkin tiukentamalla rajaa F:än liian moni näyte olisi karsiutunut joukosta, joten lyijykynäkovuudella karsittiin joukosta ainoastaan kaikkein pehmeimmät pinnoitteet. Hankaustestillä rajattiin ulos yksi kolmasosa näytteistä. Kolikkonaarmutusta ei pidetty kovin tärkeänä tekijänä, sillä näytteet kestivät testissä hyvin joka tapauksessa. Sen vuoksi kolikkonaarmutustestillä rajattiin ulos ainoastaan kaikkein huonoimmat tulokset saaneet näytteet.

Etukäteen Robust-kategoriaan luokiteltiin 14 pinnoitetta, joista kahdesta maalattiin kaksi versiota. Kaikkia kovuustestejä ei tehty kaikille näytteille. Esimerkiksi referenssinäytteet 2 (Struktuuripolyesteri) sekä 9 ja 30 (ARS-polyesteri) jätettiin pois osasta testejä, ja niin ollen myös koko tutkimuksesta kovuuden ja kulutuskestävyyden osalta. Kolikkonaarmutustestiä ei tehty yksikerrospinnoitteille. Robust-kategorian näytteiden testaustulokset ovat taulukossa 7.3.

Tulosten perusteella on havaittavissa, että suurin osa Robust-kategorian pinnoitteista on joko kovia tai naarmutusta kestäviä. Tyypillisesti niillä pinnoitteilla, joiden kovuustestin tulos on F, neulanaarmunkestävyys sinkkiin on korkeintaan 2100 g. Taas niillä pinnoitteilla, joilla naarmunkestävyys on korkeampi, kovuus on HB. Muutamia poikkeuksia on. Kuten aiemmin on todettu, BIC Flex/Robust -pinnoite (näyte 24) on pärjännyt testeissä odotettua huonommin. Kovuuden ja kulutuskestävyyden suhteen pätee sama – ainoastaan hankaustestissä näyte pärjasi hyvin. Toinen poikkeus on Pural-pinnoite, joka testien perusteella on sekä kova että naarmunkestävä. Muita poikkeuksia ovat KCC Robust 1 ja BIC Robust 1 -pinnoitteet. Näillä molemmilla kovuus on HB ja naarmunkestävyys korkeintaan 1700 g. KCC Robust 1:n huonoja tuloksia selittää osaltaan sen ohut kalvonpaksuus.



**Taulukko 7.3.** Robust-kategoriaan luokiteltujen pinnoitteiden kovuus- ja kulutuskestävyystestien tulokset.

Näyte	Nimi	Neulanaarmu (g)			Kovuus	Hankaus	Kolikko
		Primer/Base	Sinkki	Clemen	Kynä	KA	2.5 bar
3	Pural	1700	4100	4100	F	1.25	1
4	VC Robust 2 A	< 1300	1700	2000	F	3.00	1
5	VC Robust 1	1300	1700	1600	F	2.50	1
7	Purex	1300	2500	3100	HB	1.75	2
10	VC Robust 3	1700	1700	1800	F	2.50	3
11	VC Robust 2 B	2100	2100	2600	F	2.75	1
14	KCC Robust 1 A	1300	1700	1400	HB	2.50	1
15	KCC Robust 1 B	-	1300	1800	HB	2.50	-
16	Struktuuripolyesteri B	1300	2100	1600	F	1.50	0
20	BIC Robust 1	1300	1700	1700	HB	1.50	3
21	BIC Robust 2	1300	2100	2400	HB	1.00	1
24	BIC Flex/Robust	< 1300	1700	1600	2B	1.25	4
31	ARS-polyesteri C	1700	3100	2400	HB	2.00	2
34	KCC Robust 2	1700	2500	1800	HB	1.50	1
35	KCC Robust 3	1700	1700	1700	F	1.75	1
42	BASF Flex/Robust 2	1300	3100	1600	HB	2.75	2

Robust-kategorian pinnoitteista viisi pääsi kaikkien raja-arvojen sisään ja näin ollen 11 parhaiten pärjänneen näytteen joukkoon. Nämä pinnoitteet olivat Ruukin Pural, Purex ja ARS-polyesteri sekä BIC Robust 2 ja KCC Robust 2. Kuten joustavuustestien kohdalla, myös kovuus- ja kulutustesteissä pärjäsivät hyvin yllättävän moni Deco-pinnoite. Lisäksi raja-arvojen sisään pääsi KCC Flex -pinnoite. Kaikkien raja-arvojen sisään päässeet pinnoitteet ovat listattuna taulukossa 7.4.

**Taulukko 7.4.** Kovuus- ja kulutuskestävyystesteissä parhaiten pärjänneet näytteet.

Näyte	Nimi	Neulanaarmu (g)			Kovuus	Hankaus	Kolikko
		Primer/Base	Sinkki	Clemen	Kynä	KA	2.5 bar
3	Pural	1700	4100	4100	F	1.25	1
7	Purex	1300	2500	3100	HB	1.75	2
12	KCC Deco 1 A	3100	3600	2400	HB	2.00	2
21	BIC Robust 2	1300	2100	2400	HB	1.00	1
25	BIC Deco 3	1300	4600	4300	F	1.50	3
26	BIC Deco 4	1300	2100	1800	HB	1.50	3
27	BIC Deco 5	1300	2100	2100	F	2.00	3
31	ARS-polyesteri	1700	3100	2400	HB	2.00	2
34	KCC Robust 2	1700	2500	1800	HB	1.50	1
36	KCC Flex A	1300	2500	2400	HB	1.75	1
37	KCC Flex B	1300	2500	2400	HB	2.00	1

Parhaiten kovuus- ja kulutuskestävyydesteissä pärjäsivät Pural- ja BIC Deco 3 -pinnoitteet. Neulanaarmutestissä BIC Deco 3 pärjasi kaikkein parhaiten. Vaikka pohjamaalin päällä oleva lakka ei kestänyt naarmutusta juuri ollenkaan, pohjamaali oli erittäin kestävä. Myös kynäkovuustulos on parhaiden joukossa. Hankauksetin ja kolikkonaarmutustestin tuloksia huononsi se, että samoin kuin useimpien Deco-pinnoitteiden, myös tämän pinnoitteen lakkapintaan tuli näkyvä jälki. Pural-pinnoitteen kestävyyttä naarmutustestissä selittää osittain pinnoitteen korkea kalvonpaksuus (n. 50 µm), mutta kuten kovuustestin tuloksesta näkee, pinnoite on myös kova, mikä korreloi usein naarmunkestävyyden kanssa. Useimmilla valkoisilla pinnoitteilla kolikkonaarmutuksen jälki oli hyvin näkymätön, ja niin myös Puralin tapauksessa.

Seuraavaksi parhaiten naarmutustestissä pärjäsivät KCC Deco 1 A ja ARS-polyesteri. KCC Deco 1 A -pinnoitteen naarmunkestävyyttä selittää se, että siinä on kolme kerrosta. KCC Deco 1 B -pinnoite eli sama pinnoite ilman primeria pärjasi kovuus- ja neulanaarmutustesteissä huomattavasti heikommin. Myös näyteparin 4 ja 11 kohdalla päti sama: VC Robust 2 -pinnoite pärjasi neulanaarmutustestissä selkeästi paremmin kolmikerroksisena (näyte 11) kuin ilman primeria (näyte 4). Vastaavasti yksikerroksiset pinnoitteet eivät pärjänneet neulanaarmutustestissä kovin hyvin, vaan paras tulos yksikerroksisilla pinnoitesysteemeillä oli 1300 grammaa. Vastaavuus nähdään myös näyteparin 14 ja 15 (KCC Robust 1) tuloksista: Primeroidulla näytteellä 14 neulanaarmutustulos on parempi kuin yksikerroksisella näytteellä 15. Lyijykynäkovuus oli HB kaikilla muilla paitsi VC Deco 1 B -pinnoitteella, jonka pinta on sileämpi ja korkeakiiltoisempi kuin muilla.

ARS-polyesteri on kehitetty kulutuskestäväksi maalipinnoitteeksi. Pinnoite on strukturoitu PA-partikkeleilla, mikä usein yhdistetään kulutuskestävyyteen. Myös muut tutkimuksessa mukana olleet partikkeleilla strukturoidut pinnoitteet pärjäsivät kulutuskestävyydesteissä hyvin. Neulanaarmutustestin tulos on Purexia lukuun ottamatta kaikilla pinnoitteilla 1700 grammaa, kun suurimmalla osalla pinnoitteista tulos on korkeintaan 1300 grammaa. Partikkelistrukturointi saattaa siis parantaa pintamaalin naarmunkestävyyttä, joskin kyseisen pinnoitetyypin otanta tutkimuksessa on melko pieni (neljä eri pinnoitetta). Kemiallisesti strukturoiduilla pinnoitteilla kulutuskestävyys ei eroa selkeästi sileisiin pinnoitteisiin verrattuna.

Kerrosten lukumäärän ohella myös kalvonpaksuuden voisi olettaa vaikuttavan naarmunkestävyyteen. Kalvonpaksuuden vaikutusta kovuuteen ja kulutuskestävyyteen tutkittiin samoin kuin kalvonpaksuuden vaikutusta joustavuuteen ja muovattavuuteen: piirrettiin kuvaajat kovuuden ja kulutuskestävyyden testien tuloksista kalvonpaksuuden suhteen. Kuvaajissa y-akselilla ovat lyijykynäkovuus sekä neulanaarmutus sinkkiin ja Clemenillä. Kuvaajat ovat nähtävissä liitteessä 6. Kolikkonaarmutuksen ja hankauskestävyyden kanssa kalvonpaksuudella ei oletettavasti ole suoraa korrelaatiota, sillä molemmissa tapauksissa on huomattu pinnoitteen ulkonäön, kuten värin ja

mahdollisen struktuurilakan, vaikuttavan tulokseen enemmän. Kynäkovuuden ja kalvonpaksuuden välillä ei havaittu verrannollisuutta. Sen sijaan kuvaajissa neulanaarmutus sinkkiin ja Clemenillä kalvonpaksuuden suhteen on havaittavissa lineaarisuutta. Selkeästi poikkeavia tuloksia ovat BIC Deco 3, jonka naarmunkestävyys on erinomainen kalvonpaksuuteen nähden, sekä KCC Hot 2, jonka naarmunkestävyys on erittäin huono.

On huomattavaa, että pinnoitteen KCC Deco 1 A neulanaarmunkestävyys primeriin on erittäin hyvä. A-pinnoitteen naarmunkestävyys primeriin on parempi kuin B-pinnoitteen naarmunkestävyys sinkkiin, vaikka pinnoitesysteemi ja teoriassa kalvonpaksuus ovat näissä tapauksissa samat. Kuitenkin molempien pinnoitteiden tapauksessa toteutuneet kalvonpaksuusarvot poikkeavat tavoitearvoista, ja on mahdotonta arvioida kunkin maalikerroksen kalvonpaksuutta erikseen.

Sellaisia pinnoitteita, jotka eivät olisi päässeet minkään raja-arvon sisälle, ei ollut ollenkaan. Suurimmalla osalla (22 kpl) pinnoitteista lyijykynäkovuus oli HB. Sitä pehmeämpiä pinnoitteita oli ainoastaan neljä kappaletta, joista kaksi oli B ja kaksi 2B. Molemmilla näytteillä, joiden kynäkovuus oli B, neulanaarmunkestävyys sinkkiin oli 2100 grammaa, jolloin tulos oli keskiarvoa parempi. Niillä näytteillä, joilla kovuus oli 2B, oli hankaustestin tulos alle 2,00. Hankaustestissä kaikkein huonoimpia tuloksia saivat VC Robust ja VC Flex -pinnoitteet sekä KCC Robust 1, BASF Flex/Robust 2 ja muutamat deco-pinnoitteet. Kolikkonaarmutustestissä heikoiten pärjäsivät BIC Deco -pinnoitteet, BIC Flex/Robust ja BIC Robust 1 sekä VC Robust/Deco ja VC Robust 3.

## **7.4 Pinnoitteen kovettumisen onnistuminen, liuottimienkesto ja adheesio**

Pinnoitteen kovettumisen onnistumista ja liuottimien kestoa testattiin MEK- ja Stripper-testeillä. Adheesiota eli pinnoitteiden tarttuvuutta testattiin hilaristikkotestillä. Testausmenetelmät ja adheesion arvosteluasteikko ovat esitelty luvussa 6.6. Kaikki testaustulokset löytyvät taulukoituna liitteestä 5. Stripper-testissä kaikki pinnoitteet kestivät vaaditut 60 sekuntia, lukuun ottamatta näytettä 24 (BIC Flex/Robust), joka kesti 55 sekuntia. MEK-testissä kaikki muut paitsi viisi pinnoitetta kestivät 100 edestakaista hankausta. Näytteet 38–41 (KCC Deco 2 -pinnoitteet) kestivät alle 100, mutta kuitenkin yli 50 edestakaista hankausta, ja näyte 24 kesti ainoastaan 28 edestakaista hankausta.

MEK- ja Stripper-testien perusteella on todennäköistä, että näytteen 24 pinnoitteen kovettuminen on epäonnistunut. Maalintoimittajan tulosten perusteella näytteen olisi pitänyt kestää 100 hankausta ja 60 sekuntia. Näytteiden 38–41 kohdalla tuloksia oli haastavaa tulkita. Pinnoite selvästi haalistui ja irtosi hiljalleen hankaamisen johdosta, mutta koska perusaine näkyy pinnoitteiden alta muutenkin, on vaikea sanoa missä vaiheessa perusaine tuli näkyviin hankaamisen vuoksi. On oletettavaa, ettei pinnoitteiden

irtoaminen johtunut kovettumisen epäonnistumisesta, vaan heikosta liuottimienkestosta tai ohuesta, läpikuultavasta kalvosta. Stripper-testissä pinnoitteet eivät kuitenkaan irronneet.

Adheesiotestissä 0 (nolla) oli paras ja 3 huonoin tulos arvosteluasteikon ollessa 0-5. Suurimman osan (22 kpl) pinnoitteista adheesio oli 0, eli pinnoitetta ei irronnut ollenkaan. 13 pinnoitteella adheesio oli 1, jolloin pinnoitteen irtoaminen oli vähäistä: leikkausristikon alueesta korkeintaan 5 % oli vaurioitunut. Näistä pinnoitteista kahdesta (13 ja 26) pinnoite irtosi ainoastaan pohjamaaliin asti. Neljä pinnoitetta saavutti adheesioluokan 2, eli leikkausristikon alueesta korkeintaan 5-15 % oli vaurioitunut. Näytteessä 12 pinnoite irtosi ainoastaan pohjamaaliin asti. Testissä huonoiten pärjäsivät näytteet 21 ja 24, joiden adheesioluokka oli 3. Näiden pinnoitteiden kohdalla leikkausristikon alueesta oli vaurioitunut selvästi enemmän kuin 15 % mutta ei enempää kuin 35 %. Näytteen 24 kohdalla adheesiota todennäköisesti huonontaa oletettu kovetuksen epäonnistuminen.

Tulosten avulla voidaan arvioida esimerkiksi primerin vaikutusta adheesioon sekä vertailla eri toimittajien samantyyppisiä pinnoitteita ja toisaalta referenssipinnoitteita. Tuloksia ei voida verrata maalintoimittajien omiin testituloksiin, sillä joko niitä ei ole saatavilla tai testausmenetelmä on eri. Näyteparit 4 ja 11 (VC Robust 2 A ja B), 12 ja 13 (KCC Deco 1 A ja B) sekä 14 ja 15 (KCC Robust 1 A ja B) maalattiin niin, että näyteparissa on sama pintamaali, mutta vain toisen alla on primer. Lisäksi näyteparissa 36 ja 37 (KCC Flex A ja B) on sama pintamaali, mutta eri primerit. Näytteessä 4 adheesio on huonompi kuin näytteessä 11, joten tässä tapauksessa primer saattaa parantaa adheesiota. Myös näyteparin 12 ja 13 kohdalla adheesio eroaa, mutta molemmissa ainoastaan ylin lakkakerros vaurioitui, joten primer ei tässä tapauksessa vaikuta asiaan. Näytteillä 14 ja 15 on molemmilla adheesiotulos 0. Näyteparin 36 ja 37 tapauksessa näytteen 36 adheesiotulos on parempi. Näytteen 36 primer on toimittajan oma, ja näytteessä 37 käytettiin Ruukin yleisprimeria. Voidaan siis todeta, että toimittajan omalla primerilla adheesio oli parempi.

Kaikilla yksikerroksisilla pinnoitteilla adheesiotulos oli 0, mutta muuten kerrosten lukumäärän ei havaittu vaikuttavan adheesioon. Vertaamalla partikkelistrukturoituja, kemiallisesti strukturoituja ja sileitä pinnoitteita ei havaittu johdonmukaisia eroja adheesiossa, kuten ei myöskään verrattaessa keskenään eri kategorioihin luokiteltuja pinnoitteita. KCC:n maaleista suurimmalla osalla adheesio oli 0, kun taas Valsparin maaleista suurimmalla osalla adheesio oli > 0. Valsparin pinnoitteet maalattiin pääosin ensimmäisellä maalauskerralla, ja KCC:n pinnoitteet toisella ja viidennellä maalauskerralla. Valsparin pinnoitteissa oli suurimmassa osassa Ruukin yleisprimer, mutta myös osassa KCC:n parhaiten pärjänneistä pinnoitteista oli sama primer. Beckersin pinnoitteissa oli kussakin oma, pinnoitteeseen suunniteltu primer, mutta tulokset olivat silti hyvin vaihtelevia.

Tuloksista huomataan, että referenssipinnoitteilla (näytteet 9, 30 ja 31 sekä näytteet 2 ja 16), jotka ovat erinäisten virhetekijöiden arvioimiseksi maalattu useamman kuin yhden kerran, on keskenään sama adheesiotulos. ARS-polyesterillä (9, 30 ja 31) tulos on 0, ja struktuuripolyesterillä (2 ja 16) tulos on 2. Ruukin tuoteportfolion mukaan sekä ARS-polyesterin että struktuuripolyesterin adheesion pitäisi olla nolla.

## 7.5 Yhteenveto pinnoitteiden ominaisuuksista

Tässä luvussa esitetään yhteenveto pinnoitteiden ominaisuuksista testaustulosten perusteella. Pinnoitteet käydään läpi yksitellen näytenumeron mukaisessa järjestyksessä. Tavoitteena on tiivistää pisteyttämällä kunkin pinnoitteen ominaisuudet, ja verrata niitä toisiinsa, jotta saadaan selville mitkä testatuista pinnoitteista voisivat vastata tämän tutkimuksen tavoitteisiin. Toisin sanoen selvitetään, millä pinnoitteista olisi sellaista potentiaalia, että niille kannattaisi tehdä jatkotutkimuksia.

Pisteytys on määräytynyt pääasiassa testitulosten, mutta osittain myös asiakashaastattelujen vastausten perusteella. Joustavuus- ja kulutuskestävyysominaisuuksien pisteytys on tehty luvuissa 7.2 ja 7.3 esitettyjen raja-arvojen avulla. Yksi (1) piste on huonoin tulos, ja viisi (5) pistettä paras. Jos pinnoiteominaisuus on keskitasoa, eli hyvin lähellä raja-arvoa, pinnoite sai kolme (3) pistettä. Jos ominaisuus on hieman raja-arvoa huonompi tai parempi, pinnoite sai kaksi (2) tai neljä (4) pistettä.

Lisäpisteitä pinnoite saattoi saada lisäarvoa tuovista ominaisuuksista. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi kustannuksia alentava yksikerrospinnoite tai ohut kalvonpaksuus sekä ulkonäöllinen lisäarvo, kuten deco-efekti. Deco-efekteiksi luetaan metallihohto, kimalle, kameleonttipinta ja läpikuultavuus. Vastaavasti korkeasta kalvonpaksuudesta ja kolmikerroksisuudesta sai miinuspisteen. Koska Hot-pinnoitteille ei ole tutkimuksessa omaa kategoriaa, myös lämmönkesto lasketaan lisäpisteen arvoiseksi ominaisuudeksi. Pisteytyksen tarkat arvot mekaanisten ominaisuuksien osalta ovat taulukossa 7.5.

**Taulukko 7.5. Pinnoitteiden ominaisuuksien pisteytys.**

Pisteet	Kuula	T-bend	Isku	Neula sinkkiin	Clemen	Kovuus	Hankaus
0	Testiä ei tehty kyseiselle pinnoitteelle						
1	3,7–5,0	3,8–5,6	3,0–5,3	< 1300–1300	1200–1500	2B	2,75–3,00
2	1,7–3,0	2,3–2,7	2,5–3,0	1700	1600–1700	B	2,50
3	1,0–1,3	1,9–2,2	2,0–2,4	2100	1800–2200	HB	1,75–2,00
4	0,3–0,7	1,2–1,7	1,7–1,9	2500	2400–2600	F	1,50
5	0,0	0,0–1,0	0,7–1,6	3100–4600	3000–4300	H	1,00–1,25

Pisteytetyt ominaisuudet löytyvät kokonaisuudessa liitteestä 8, mutta yhteenveto on taulukossa 7.6. Joustavuusominaisuuksien (Flex) maksimipistemäärä on 15 ja kulutuskestävyysominaisuuksien (Robust) 20. Lisäpisteitä saattoi saada korkeintaan kolme.

**Taulukko 7.6. Pinnoitteiden ominaisuuksien yhteenveto pisteytettynä.**

Näyte	Pinnoite	Flex	Robust	Lisä	Yhteensä
1	VC Deco 1 A	0	0	2	2
2	Struktuuripolyesteri A	4	7	0	11
3	Pural	12	19	-1	30
4	VC Robust 2 A	9	10	0	19
5	VC Robust 1	11	10	0	21
6	VC Robust/Deco	12	12	1	25
7	Purex	14	15	0	29
8	VC Flex	7	9	0	16
9	ARS-polyesteri A	12	6	0	18
10	VC Robust 3	5	11	0	16
11	VC Robust 2 B	11	12	-1	22
12	KCC Deco 1 A	8	15	0	23
13	KCC Deco 1 B	7	11	1	19
14	KCC Robust 1 A	13	8	1	22
15	KCC Robust 1 B	13	9	1	23
16	Struktuuripolyesteri B	3	13	0	16
17	VC Deco 1 B	8	9	2	19
18	BIC Flex 1	15	14	0	29
19	BIC Flex 2	10	11	0	21
20	BIC Robust 1	13	11	0	24
21	BIC Robust 2	11	15	0	26
22	BIC Deco 1	11	11	1	23
23	BIC Deco 2	11	8	1	20
24	BIC Flex/Robust	7	10	0	17
25	BIC Deco 3	6	18	1	25
26	BIC Deco 4	6	13	1	20
27	BIC Deco 5	11	13	1	25
28	BIC Deco 6	8	16	0	24
29	VC Deco 2	10	12	1	23
30	ARS-polyesteri B	15	8	0	23
31	ARS-polyesteri C	14	15	0	29
32	KCC Hot 1	3	11	1	15
33	KCC Hot 2	3	10	1	14
34	KCC Robust 2	12	14	0	26
35	KCC Robust 3	3	11	0	14
36	KCC Flex A	11	14	0	25
37	KCC Flex B	6	14	0	20
38	KCC Deco 2 A	14	9	1	24
39	KCC Deco 2 B	13	10	1	24
40	KCC Deco 2 C	11	8	1	20
41	KCC Deco 2 D	11	8	1	20
42	BASF Flex/Robust 2	5	11	-1	15

Taulukosta 7.6 on helppo nähdä, mitkä testatuista pinnoitteista olivat parhaita Flex-kategoriassa, Robust-kategoriassa ja ylipäätään. Liitteessä 9 olevassa taulukossa pinnoitteet on järjestetty paremmuusjärjestykseen erikseen Flex- ja Robust-ominaisuuksiensa mukaan. Flex-kategoriassa parhaiten pärjänneet pinnoitteet ovat luonnollisesti suunnilleen samat kuin taulukossa 7.2, ja Robust-kategoriassa parhaiten pärjänneet pinnoitteet suunnilleen samat kuin taulukossa 7.4. Taulukon viimeisestä sarakkeesta voi nähdä kunkin pinnoitteen ominaisuudet yhteensä. On huomionarvoista, että taulukon perusteella tutkimuksen parhaat pinnoitteet (29-30 pistettä) ovat Ruukin Pural, Purex ja ARS-polyesteri sekä BIC Flex 1 -pinnoite, joka on kehitetty Ruukin Pural RWS -pinnoitteesta.

Seuraavaksi parhaiden pinnoitteiden (25-26 pistettä) joukossa on sekä Robust-, Flex- että Deco-pinnoitteita. BIC Deco 3 ja 5 saivat molemmat 25 pistettä, mutta näistä BIC Deco 3 -pinnoitteella on erityisen hyvä kulutuskestävyys kun taas BIC Deco 5 pärjasi tasaisen hyvin molemmissa kategorioissa. Myös VC Robust/Deco -pinnoite sai 25 pistettä, ja oli yhtä joustava kuin kulutuskestävä. Kumpikin jälkimmäisenä mainituista pinnoitteista karsiutuivat molemmissa kategorioissa, kun maalaussarjan testituloksille määritettiin raja-arvoja. Flex-pinnoitteista KCC Flex A sai 25 pistettä. Pinnoitteessa on pintamaalin alla Ruukin primer. KCC Flex B -pinnoite, jossa käytettiin maalintoimittajan omaa primeria, sai huomattavasti huonommat tulokset joustavuustesteissä.

BIC Robust 2 ja KCC Robust 2 -pinnoitteet saivat molemmat 26 pistettä. BIC Robust 2 on ulkonäöltään hyvin samanlainen kuin Ruukin struktuuripolyesteri, mutta testien mukaan pinnoite on ominaisuuksiltaan huomattavasti parempi kuin struktuuripolyesteri. Ainoa huono tulos BIC Robust 2:lla oli adheesiotestistä, tulos 3. Toisaalta struktuuripolyesterin tapauksessa on syytä epäillä, että laboratoriomaalauksessa oli jotain pielessä, sillä tuoteportfolion mukaan pinnoitteen pitäisi olla joustavampi. Esimerkiksi on mahdollista, ettei maali ollut kunnolla sekoittunut. KCC Robust 2 oli kuvailtu erityisen kulutuskestäväksi pinnoitteeksi, mutta todetusti pinnoite on myös hyvin joustava.

Erityisen huonot pisteet saivat struktuuripolyesterin lisäksi pinnoitteet VC Flex ja VC Robust 3, BIC Flex/Robust, KCC Hot 1 ja 2 sekä BASF Flex/Robust 2. Joustavaksi tarkoitetun VC Flexin joustavuus oli testien perusteella huonommasta päästä. VC Robust 3 oli kova pinnoite, mutta pärjasi melko huonosti muissa kulutuskestävyyden testeissä sekä joustavuustesteissä. BIC Flex/Robust -pinnoitteen maalauksessa oli todennäköisesti jotain pielessä, sillä pinnoite sai huonot tulokset mekaanisen testauksen lisäksi myös kovettumisen onnistumista mittaavissa testeissä. Hot-pinnoitteiden mekaaniset ominaisuudet olivat melko heikot. Toisaalta, koska pinnoitteet on tarkoitettu käytettäväksi korkeissa lämpötiloissa, saattaa olla, että mekaaniset ominaisuudet olisivat paremmat huoneenlämpöä kuumemmissa olosuhteissa.

## 8 MAALAUSSKOEAJO JA KOEPROFILOINTI

Maalauuskoeajoon valittiin laboratoriomaalattujen näytteiden testaustulosten sekä asiakashaastatteluiden perusteella kaksi pinnoitetta. Pinnoitteet koeajettiin Kankaanpään maalipinnoituslinjalla. Koeajetuille pinnoitteille suoritettiin mekaaninen testaus tuotekehityslaboratoriossa Hämeenlinnassa. Onnistuneesti koemaalattut levyt leikattiin arkeiksi ja toimitettiin kahdelle asiakkaalle, joiden kanssa oli sovittu yhteistyöstä koeprofiloinnin osalta. Yhteistyöasiakkaita olivat Metallivalmiste A. Laaksonen Oy Hyvinkäältä ja Forssan LVI-valmiste Oy. Levyt muovattiin kuten asiakkaiden tuotteet, jolloin voitiin arvioida uusien pinnoitteiden profiloitavuutta todellisessa tuotantoympäristössä.

### 8.1 Linjamaalaus

Koemaalaus tehtiin kahdelle pinnoitteelle. Toinen pinnoitteista on näyte numero 25 eli Beckersin BIC Deco 3 -pinnoite. Pinnoitesysteemissä on kaksi kerrosta: Väriellinen pohjamaali, ja sen päällä läpinäkyvä rypytyvä kirkaslakka, jossa on mica-pigmenttien aikaansaama kimallusefekti. Pinnoitteella on laboratoriotestausten perusteella erinomainen naarmunkestävyys. Lisäksi tuotteelle lisäarvoa tuo pintalakan helmiäispigmentointi. Pinnoitteen alkuperäisen punaisen värin arveltiin olevan epäkiinnostava asiakashaastattelujen perusteella, joten maalintoimittajaa pyydettiin sävyttämään se uudelleen. Sävyksi valittiin vaaleansininen, mahdollisimman lähellä Ruukin omaa värisävyä RR44. Samalla pintalakka vaihtui, ja uuden lakan kimallusefekti on alumiinipigmenttien aikaansaama.

Toiseksi pinnoitteeksi valittiin KCC:n Deco 2 B -pinnoite. Pinnoite on ohutkerroksinen sävytetty kirkaslakka, joka on tarkoitus maalata suoraan esikäsitellyn sinkin päälle. Pinnoitteessa on koristeellinen metalliefekti sekä rypytyvä pinta. Pinnoitteen puolesta puhuvat sen koristeellisen ulkonäön lisäksi kustannustehokkuus. Yksikerroksisuuden ja ohuen pinnoitepaksuuden vuoksi pinnoituskustannukset jäävät alhaisiksi. Ohuesta pinnoitepaksuudesta huolimatta pinnoitteen mekaaniset ominaisuudet ovat laboratoriotestien perusteella hyvät. Joustavuutta ja muovattavuutta arvioivissa testeissä pienet säröt eivät pinnoitteen ulkonäön vuoksi näy. Naarmunkestävyys oli keskinkertainen, mutta karheen pinnanlaatunsa vuoksi pinnoite pärjäsi kovuustestissä hyvin. Sävyksi valittiin jälleen vaalean sininen. Pinnoitteiden laboratoriotestaustulokset on esitetty luvussa 7.

Koemaalaus tehtiin kahdelle eri substraatille yhteistyöasiakkaiden tarpeiden mukaisesti. Toinen substraatti oli 0,75 millimetrin paksuista erikoislujuutta kylmävalssattua terästä (KyVa). Toinen teräs oli 1,0 millimetrin paksuista, ja siinä oli päällä sisäkäyttötötuotteissa



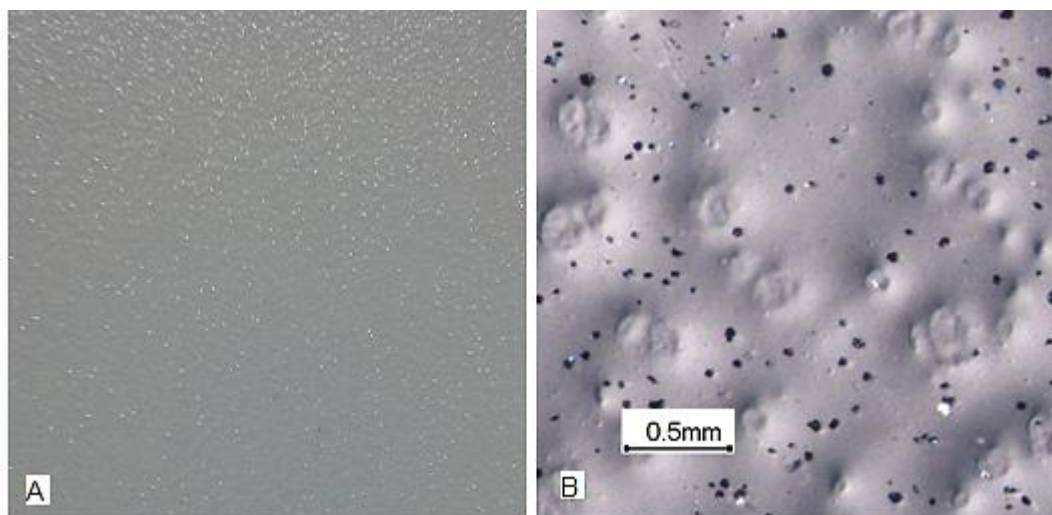
tyypillinen 100 g/m<sup>2</sup> sinkkikerros (HDG). [32] Taulukossa 8.1 on esitetty kootusti substraattien tiedot. Molemmille substraateille tehtiin maalauksen yhteydessä kromivapaa esikäsitteily. Kylmävalssattu kela ajettiin kahdessa osassa, jotta välissä voitiin säätää maalausparametreja tarpeen mukaan. Sinkitty materiaali oli paksumpaa, jolloin kela oli liian lyhyt, että sitä olisi voitu jakaa osakeloihin.

***Taulukko 8.1. Substraattien tiedot.***

Asiakas	Metallivalmiste A. Laaksonen Oy	Forssan LVI-valmiste Oy
Teräslaatu	HC260LA-A-M (KyVa)	S280GD+Z100-M-C (HDG)
Paksuus	0,75 mm	1,0 mm
Sinkkikerros	Ei	100 g/m <sup>2</sup>
Massa	5000 kg	5000 kg

Beckersin maalia ajettaessa oli ongelmia kalvonpaksuuden kanssa. Ajon alussa pohjamaali levittyi tasaisesti, mutta kuivakalvonpaksuus oli liian alhainen (14 µm) verrattuna tavoitekalvonpaksuuteen (20 µm). Kun kalvonpaksuutta nostettiin 17 µm:iin, pohjamaali ei enää levittynyt kunnolla ja muodostui näkyviä läiskiä, joiden kohdalla kuivakalvonpaksuus oli matalampi. Vastaavasti pintalakkakerros oli liian paksu (keskimäärin 20 µm, tavoite 16 µm).

Seuraavan osakelan maalaaminen aloitettiin samalla kalvonpaksuudella, kuin edellinen oli lopetettu, mutta lisättiin pohjamaalin kiertoa maalikaukalossa ja nostettiin nostotelan nopeutta, jolloin maalia tuli telalle enemmän. Kokemuksen perusteella kyseisten toimenpiteiden seurauksena läiskien muodostuminen on loppunut. Kuitenkin läiskiä muodostui edelleen, minkä vuoksi kalvonpaksuus laskettiin 14 µm:iin lisäämällä mittatelan ja maalaustelan välistä puristusta, jolloin läiskiä ei enää muodostunut. Pintalakan kalvonpaksuutta laskettiin edellisestä ajosta 18 µm:iin. Viimeiseksi ajettu sinkitty kela maalattiin samoilla parametreilla kuin toisen osakelan loppu, jolloin maalauksessa ei ollut ongelmia. Pinnanlaatu oli hyvä, vaikkei tavoitekalvonpaksuutta saavutettu. Kuvassa 8.1 on nähtävissä pinnoitteen ulkonäkö kameralla sekä suurempi tarkennus stereomikroskoopilla kuvattuna. Pinnoitteen ulkonäkö oli sama riippumatta terässubstraatista.

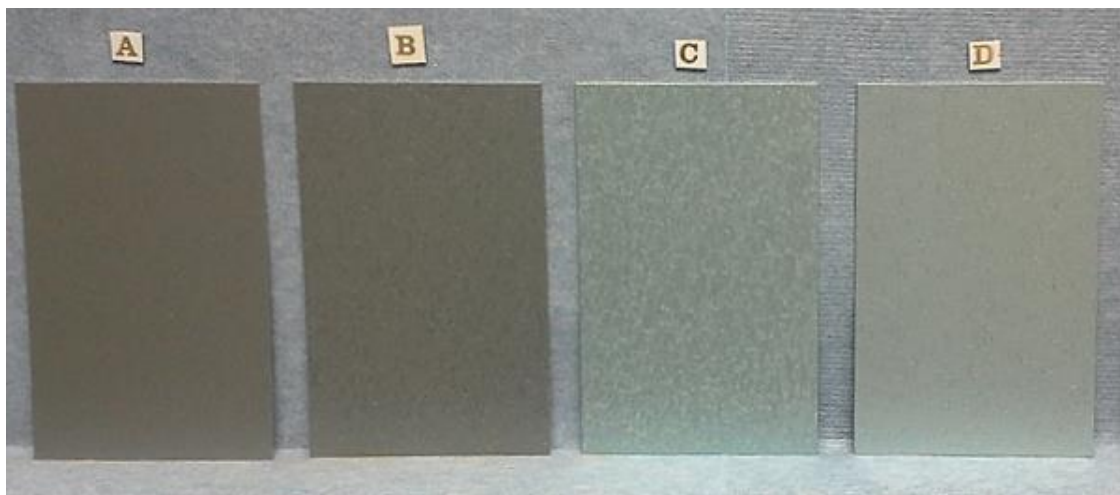


**Kuva 8.1.** Beckersin pinnoite kylmävalssatun teräksen pinnassa kameralla (A) ja stereomikroskoopilla (B) kuvattuna.

KCC:n maalin koeajossa oli enemmän ongelmia. Ensimmäinen haaste oli saada maali ulos tynnyristä, jossa ei ollut kantta, vaan ainoastaan pieni reikä. Maali pumpattiin reiän kautta toiseen tynnyriin. Pumppaamalla osa maalista takaisin alkuperäiseen tynnyriin ja sekoittamalla kevyesti varmistettiin, ettei alkuperäisen tynnyrin pohjalle jäänyt maalin kiintoaineita. Maalintoimittajalta ei myöskään ollut saatu liuotintietoja, minkä vuoksi kalvonpaksuusmittaria ei pystytty kalibroimaan eikä näin ollen saatu tarkkoja kalvonpaksuusarvoja maalauksen aikana.

Maalaus aloitettiin kylmävalssatulle kelalle, joka ajettiin jälleen kahdessa osassa. Aloitusvaiheessa märkäkalvonpaksuus arvioitiin edellisen maalin liuotintietojen perusteella. Tarkkoja arvoja kalvonpaksuudesta saatiin vasta laadunvarmistuslaboratorion mittauksista. Ensimmäisen osakelan kalvonpaksuus oli laboratoriomittausten mukaan keskimäärin 14  $\mu\text{m}$ :ä tavoitteen ollessa 15  $\mu\text{m}$ :ä. Kalvonpaksuus oli siis hyvin lähellä tavoitetta mutta pinnoitteen ulkonäkö oli kaukana tavoitellusta. Pinnassa näkyi tähtimäisiä kuvioita, jotka näyttivät pintavirheiltä. Pinta oli sileä, eikä siinä ollut juurikaan struktuuria. Toista osakelaa maalattaessa kalvonpaksuutta nostettiin, jotta saataisiin struktuuri näkyviin. Kuivakalvonpaksuus nousi 19  $\mu\text{m}$ :iin. Tähtikuvio oli tiheämpää ja struktuuria enemmän, mutta ulkonäkö ei silti ollut tavoitteen mukainen.

Kuvassa 8.2 on nähtävissä ensimmäisen (A) ja toisen osakelan (B) ulkonäkö verrattuna sinkityn teräksen päälle maalatun pinnoitteen ulkonäköön. Osaltaan ulkonäköä muuttaa maalausalausta. Normaalisti pinnoite on tarkoitettu maalattavaksi sinkityn teräksen päälle. Kylmävalssattu teräs on tummempaa kuin sinkitty, ja koska lakka oli läpikuultavaa, substraatti näkyi alta. Kylmävalssatun teräksen pinnanlaatu on erilainen kuin sinkityn, mikä saattoi vaikuttaa vääränlaisen struktuurin muodostumiseen.

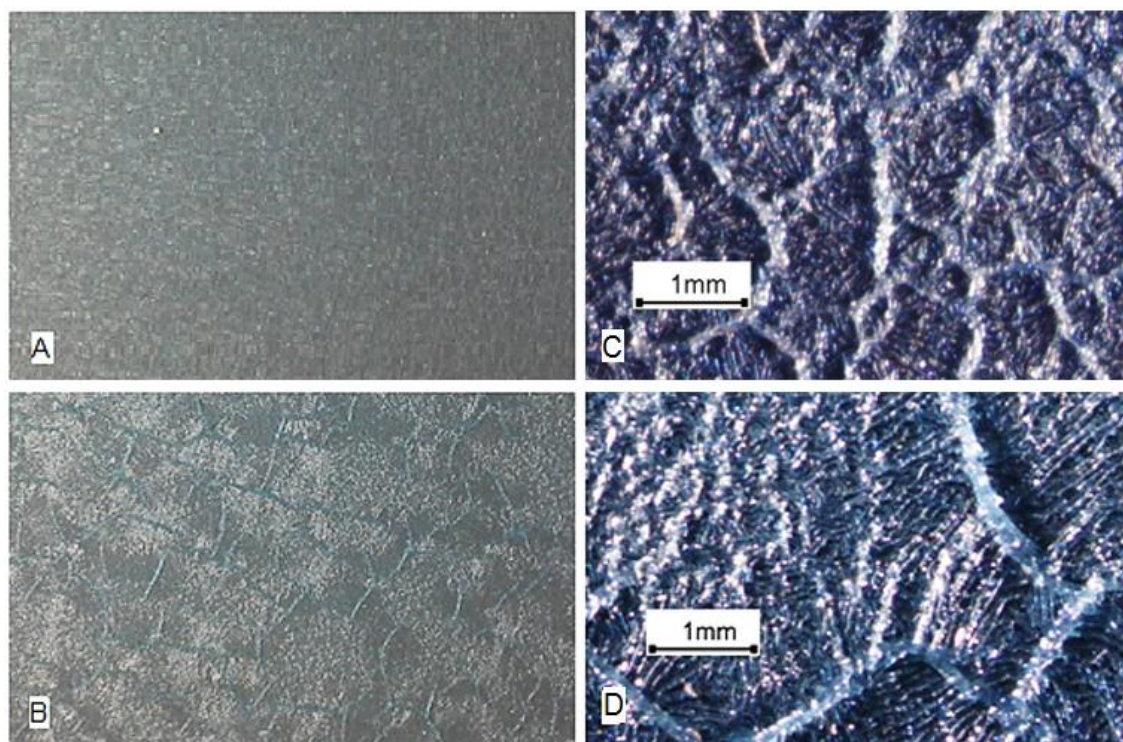


**Kuva 8.2.** KCC:n pinnoite kylmävalssatun (A ja B) ja sinkityn (C ja D) teräksen pinnassa. Substraatista riippuva väriero on havaittavissa selkeästi.

Sinkitty kela ajettiin siten, että aloitettiin hyvin korkealla kalvonpaksuudella ja laskettiin loppua kohden. Nauhan alussa kuivakalvonpaksuus oli keskimäärin 22  $\mu\text{m}$ :ä ja lopussa 15  $\mu\text{m}$ :ä. Nauhan alussa ulkonäkö oli kaikkein lähimpänä mallipalan ulkonäköä (Kuva 8.2 C). Pinta oli karhea ja struktuuria oli tiheässä. Kalvonpaksuuden laskiessa struktuuri laski ja tähtikuviot harvenivat niin, että pinta alkoi näyttää virheelliseltä (Kuva 8.2 D). Todettiin, että paras tulos saatiin, kun kalvonpaksuus oli korkeimmillaan eli jopa 23  $\mu\text{m}$ :ä. Kun kuivakalvonpaksuus läheni tavoitetta, pinnanlaatu huononi.

Kuvassa 8.3 on havainnollistettu sinkityn kelan alun ulkonäköä (B ja D) verrattuna maalintoimittajalta saatuun mallipalaan (A ja C). Kuten kuvasta voi havaita, parhaassakin tapauksessa pinta oli erinäköinen kuin maalipalassa - struktuurikuviointi oli selkeästi suurempaa.

Laadunvarmistustestausten mukaan molemmat pinnoitteet kestivät murtumatta ja irtoamatta kuulanpudotuksen 160 lbf in. Pinnoitteiden taivutuskestävyys ja -adheesio oli 0T ja kynäkovuus H. Kuivuminen todettiin onnistuneeksi MEK- ja Stripper-kokeilla. Lisätietoa koemaalauksesta ja laadunvarmistustuloksista on koeajoraportissa liitteessä 10.



**Kuva 8.3.** KCC:n maalipinnoite sinkityn teräksen päällä. Kuvassa A maalintoimittajalta saatu mallipala ja kuvassa B koeajetun kelan alkuosa kameralla kuvattuna. Kuvassa C mallipala ja kuvassa D koeajetun kelan alkuosa stereomikroskoopilla kuvattuna.

Ulkonäön perusteella todettiin, ettei kylmävalssatulle kelalle ajettu KCC:n pinnoitteen koemaalaus onnistunut toivotulla tavalla. Näin ollen materiaalia ei kannata toimittaa asiakkaalle, vaikka sen mekaaniset ominaisuudet ovat riittävät. Sinkitystä kelasta poistetaan loppuosa, ja toimitetaan onnistunut alkuosa asiakkaalle. Beckersin maalin koeajo sinkitylle kelalle oli kokonaisuudessaan hyvä, joten se toimitetaan asiakkaalle sellaisenaan. Kylmävalssatulle alustalle ajetuista Beckersin maaleista toisen osakelan loppuosa oli onnistunut, joten kelasta poistetaan huono alkuosa ja toimitetaan loppukela asiakkaalle. Tulokset on vielä koottuna taulukkoon 8.2.

**Taulukko 8.2.** Maalauskoearjojen onnistuminen. Kelat on numeroitu ajojärjestyksen mukaan.

Kela	1	2	3	4	5	6
Paksuus	0.75	0.75	1	0.75	0.75	1
Teräs	KyVa	KyVa	HDG	KyVa	KyVa	HDG
Kelanimero	BZ353201	BZ353202	EE53001	BZ353601	BZ353602	EE530101
Maali	K685-4H5	K685-4H5	K685-4H5	K684-972	K684-972	K684-972
Toimittaja	Beckers	Beckers	Beckers	KCC	KCC	KCC
Onnistunut	Alku ok	Loppu ok	Ok	Ei	Ei	Alku ok
Toimitetaan	Ei	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Kyllä

Tuotekehityslaboratoriossa tehtiin mekaaniset testit näytteille keloista 2, 3, 5 ja 6. Keloista 2, 3 ja 5 otettiin näyte lopusta, ja kelasta 6 alusta. Pinnoitteiden joustavuutta ja muovattavuutta testattiin kiilataivutuskokeella ja kuulanpudotustestillä sekä kovuutta ja kulutuskestävyyttä neulanaarmutus- ja lyijykynäkovuustestillä. Lisäksi testattiin adheesio hilaristikkokokeella ja mitattiin pinnoitteiden kiilto. Laadunvarmistuslaboratoriossa Fischerscope-kalvonpaksuusmittaria ei kalibroitu täsmälleen oikealle teräslaadulle/sinkinpaksuudelle, minkä vuoksi mitattiin kalvonpaksuudet uudelleen tuotekehityslaboratoriossa. Kalvonpaksuus ja neulanaarmutuskestävyys mitattiin kelojen 2, 3, 5 ja 6 lisäksi kelan 1 loppuosalle ja kelan 2 alkuosalle, sillä haluttiin testata miten kalvonpaksuuden muutos vaikuttaa naarmutuskestävyyteen. Testit tehtiin samalla tavalla kuin laboratoriomaalatuille pinnoitteille. Testausmenetelmät on kuvattu luvussa 6. Testaustulokset on koottu taulukkoon 8.3.

**Taulukko 8.3. Koeajettujen pinnoitteiden laborioriotestaus.**

Näyte	Kalvonpaksuus		Joustavuus		Kovuus	Naarmunkestävyys*		Adheesio
	Tavoite (µm)	Mitattu (µm)	Kuula (KA)	T-bend	Lyijykynäkovuus	Primer (g)	Sinkki (g)	Hilaristikko
Kela 1 loppu	33.5	34.1	-	-	-	2100	2100	-
Kela 2 alku	33.5	33.3	-	-	-	2100	2500	-
Kela 2 loppu	33.5	27.7	3.3	0.0	F	2100	2500	1
Kela 3 loppu	33.5	30.7	2.7	0.0	F	2100	2100	0
Kela 5 loppu	15.0	17.4	0.0	0.0	HB	-**	1300	1
Kela 6 alku	15.0	23.3	0.0	1.7	B	-**	1300	0

\*Neulanaarmutus, testattu Multifunction Scratcher -laitteella

\*\*Ei primeria

Testaustulosten perusteella voidaan todeta, ettei Beckersin pinnoitteessa kuivakalvonpaksuuden nostaminen vaikuttanut merkittävästi naarmunkestävyyteen. Tuloksia tarkastellessa pitää muistaa, että Multifunction naarmutuslaitteen mitta-asteikko etenee 400 gramman välein, joten todellisuudessa ero tulosten 2100 g ja 2500 g välillä ei välttämättä ole niin suuri. KCC:n maalin kohdalla kalvonpaksuus ei vaikuttanut naarmunkestävyyteen mitenkään.

Laboratoriomaalattujen näytteiden testaustuloksiin verrattuna KCC:n maalin naarmunkestävyys on hieman parempi, mutta Beckersin maalin huomattavasti huonompi. Beckersin maalin tapauksessa uudelleensävytys on saattanut vaikuttaa maalin mekaanisiin ominaisuuksiin. Sen sijaan Beckersin pinnoitteen kovuus on sama verrattuna laboratoriomaalattuihin näytteisiin. KCC:n maalin tapauksessa pinnoite on muuttunut pehmeämmäksi kalvonpaksuuden noustessa. Myös taivutusjoustavuus on huonontunut kalvonpaksuuden kasvaessa.



Beckersin maalin tapauksessa taivutusjoustavuus on parantunut verrattuna laboratorimaalattuihin näytteisiin. Iskunkestävyys on molemmilla pinnoitteilla samaa luokkaa kuin laboratorimaalatuilla näytteillä. Adheesiosta voidaan todeta, että sinkkipinnoitteen päällä olevan maalipinnoitteen adheesio on parempi kuin kylmävalssatun pinnan päällä. Näin todettiin myös luvussa 2.3.

## 8.2 Koeprofilointi

Kun koemaalattujen pinnoitteiden mekaanisten ominaisuuksien oli todettu olevan vähintään tyydyttävällä tasolla, valittiin asiakkaille koeprofilointiin toimitettava materiaali pääasiassa ulkonäön perusteella. Metallivalmiste A. Laaksonen Oy:n käyttöön sopivalle kylmävalssatulle alustalle maalattiin onnistuneesti ainoastaan Beckersin maali. Niinpä kelan 2 (ajossa toinen osakela) loppuosa toimitettiin Ruukin Hämeenlinnan arkkileikkauslinjalle ja sieltä asiakkaalle. Forssan LVI-valmiste Oy:lle toimitettiin Beckersin maalilla maalatusta kelasta 5 sekä KCC:n maalilla maalatun kelan 6 alusta leikattuja arkkeja.

Metallivalmiste A. Laaksonen Oy on Hyvinkäällä sijaitseva perheyrittäjä, joka valmistaa muun muassa erilaisia hyllyjä, kaappeja ja laatikostoja arkistointitarkoitukseen. Arkistokäyttöön tarkoitetun siirtohyllyn valmistamiseen käytetään Ruukin struktuuripolyesterillä pinnoitettua terästä kahteen eri osaan: hyllytasoon ja pystyseiniin.

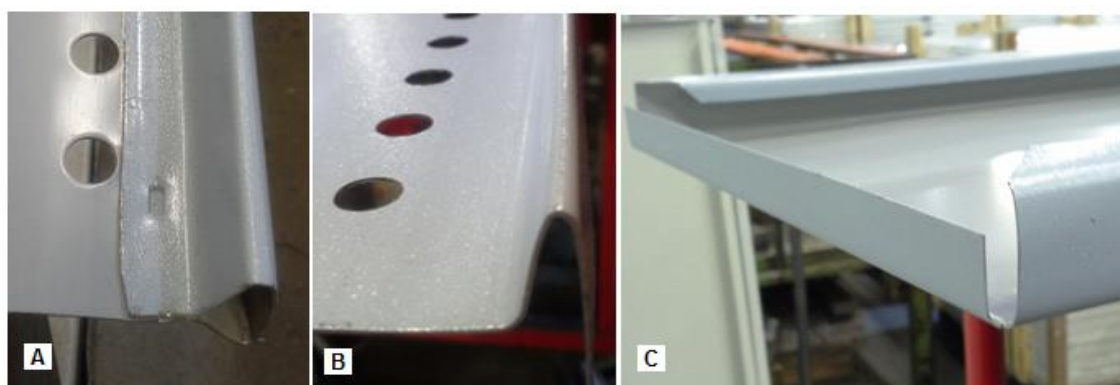
Pystyseinän profiloinnissa käytettiin rullamuovausta. Ensin teräslevy leikattiin hydraulileikkurilla haluttuun pituuteen. Linjalla levy siirtyi ensin lävistyskoneelle, joka teki levyyn kerralla 64 ympyrän muotoista reikää. Seuraavaksi levy siirtyi rullamuovauslinjalle. Rullamuovauslaitteessa oli yhteensä 64 rullaa, 32 laitteen molemmilla puolilla kahdessa tasossa niin, että muovattava levy kulki rullien välissä. Metalliset rullat muovasivat teräslevyä vähitellen, jotta saatiin aikaiseksi tarvittavat taitokset. Teräslevyn kulkua rullamuovauslinjalla on havainnollistettu kuvassa 8.4. Rullamuovauksen jälkeen tuote viimeisteltiin liittämällä levyn reunat yhteen puristusliitoksella, kuten kuvasta 8.5 A voi nähdä.

Hyllytason profilointiin käytettiin sekä rullamuovaus- että taivutusmenetelmää. Jälleen prosessi alkoi leikkaamalla teräslevy hydraulileikkurilla halutun pituiseksi. Muovauslinjalla levy kulki ensin leikkurin läpi, joka leikkasi kaikista kulmista palat pois. Seuraavaksi levy siirtyi rullamuovauslinjalle, jonka rullat oli vaihdettu hyllytason muovaukseen sopiviksi. Viimeiseksi tehtiin kanttaukset hyllytason lyhyiden sivujen päihin (ks. kuva 8.5 C). Molempia komponentteja valmistettiin yhteensä 10 kappaletta, jotta varmistuttiin pinnoitteen toimivuudesta prosessissa. Molempien komponenttien tapauksessa prosessin läpimenoaika oli muutamia minutteja.



**Kuva 8.4.** Lävistetyin pystyseinälevyn eteneminen rullamuovauslinjalla.

Asiakas oli tyytyväinen pinnoitteeseen. Kuvassa 8.5 on muutamia lähikuvia komponentteihin tehdyistä muovauksista. Vaativimmat taitokset olivat pystyseinän muovauksessa. Asiakkaan mukaan, jos pinnoite pettää, se pettää kuvassa 8.5 B näkyvän taitoksen kohdalla. Tässä tapauksessa kuitenkin pinnoite kesti muovauksen murtumatta. Ainoa huono puoli pinnoitteessa on asiakkaan mukaan sen väri. Asiakas valmistaa hyllytuotteita ainoastaan värikoodilla RAL 9002, joka on yleisesti käytetty standardiväri, eikä erikoisväreillä ole suuremmin kysyntää. Arkistohyllyn pinnoituksessa tulisi lisäksi ottaa huomioon, että pinnoitetun ohutlevyn pitää olla samanvärisen molemmilta puolilta, sillä molemmat puolet jäävät näkyviin lopulliseen tuotteeseen. Tässä tapauksessa taustamaali oli vaaleanharmaa. Pinnoitteen ei kuitenkaan tarvitse olla kaksipuoleista, sillä riittää, että pintapuoli kestää prosessin läpi.



**Kuva 8.5.** Arkistohyllyn profiloinnissa tehdyt muovaukset. Kuvassa A pystyseinän toisen reunan taitokset ja reunojen puristusliitos, kuvassa B pystyseinän toisessa reunassa oleva vaativa taitos ja kuvassa C hyllytason reunojen rullamuovautut taitokset sekä lyhyen sivun kanttaus.

Kahden edellä kuvatun komponentin lisäksi siirtohyllyn alaosaan tehdään teräksinen vaunurunko, johon liitetään teräksiset renkaat. Renkaiden avulla hyllyä on helppo liikutella kiskoja pitkin. Lisäksi hyllyyn kuuluu koristepaneeli ja siihen liitettävä veivi, jonka avulla hyllyjä liikutellaan. Teräsohutlevystä valmistettu koristepaneeli tyypillisesti pulverimaalataan, jotta värimaailma olisi vapaammin tilaajan valittavana. Koristepaneeli voidaan valmistaa myös puusta. Kokeilussa on ollut myös muun muassa teräsohutlevyyn printattava valokuva, mutta sellaisille koristepaneeleille ei ole ollut kysyntää.

Forssan LVI-valmiste Oy valmistaa erilaisia levymekaniikkakomponentteja sekä tarjoaa asiakkailleen LVI-urakointipalveluita. Yrityksen toimitilat sijaitsevat Forssassa. Ruukin struktuuripolyesterillä pinnoitetusta teräsohutlevystä yritys valmistaa esimerkiksi korjaamoissa ja tehdasympäristössä käytettäviä työkalukaappeja ja -hyllyjä. Tässä työssä profiloitiin molemmista koemaalatuista materiaaleista työkalukaappi.

Työkalukaapin valmistamiseen tarvitaan seuraavat osat:

- Takaseinä
- Lukollinen ovi oikealle puolelle
- Vasemmalle puolelle vastaava ovi ilman lukkoa
- Kylkiosat molemmille puolille
- 5 hyllytasoa, joista yksi on alalevy
- Katto
- Alapaneeli ja sivupaneelit
- Ovien vahvikkeet ja ovitasku
- Kiinnitysosia

Kaapin osien valmistaminen aloitettiin leikkaamalla ja lävistämällä osat muovausta edeltävään muotoon automatisoidulla levytyökoneella. Levytyökoneessa oli kulmaleikkuri, jossa oli kaksi toisiaan vastaan kohtisuorassa olevaa leikkausterää sekä revolveri, johon pystyttiin asentamaan kerralla jopa 20 erilaista lävistystyökalua. Lisäksi koneessa oli automaattinen työkalun voitelujärjestelmä. Koneelle määriteltiin kaappien osien muodot ja koot, ja se laski automaattisesti mitkä osat kannattaa leikata yhdestä levyarkista siten, että hukkamateriaalia tulee mahdollisimman vähän. Yhden kaapin eri osien valmistamiseen tarvittiin neljä arkkia. Koneessa oli imukupit, jotka nostivat levyarkin leikkaustasolle pinnoitettu puoli ylöspäin. Leikkaustasolla koneen levynpitimet tarttuivat arkin yhteen sivuun kuvan 8.6 mukaisesti ja liikuttivat arkkia aina tarvittavan leikkaus- tai lävistystyökalun kohdalle. Kone syötti valmiit osat pinkkauslaitteelle, joka pinosi aina samanlaiset osat yhteen pinoon. Kunkin arkin läpimenoaika oli täydellä teholla muutamia minutteja.





**Kuva 8.6.** Ohutlevyarkki leikattavana levytyökeskuksessa.

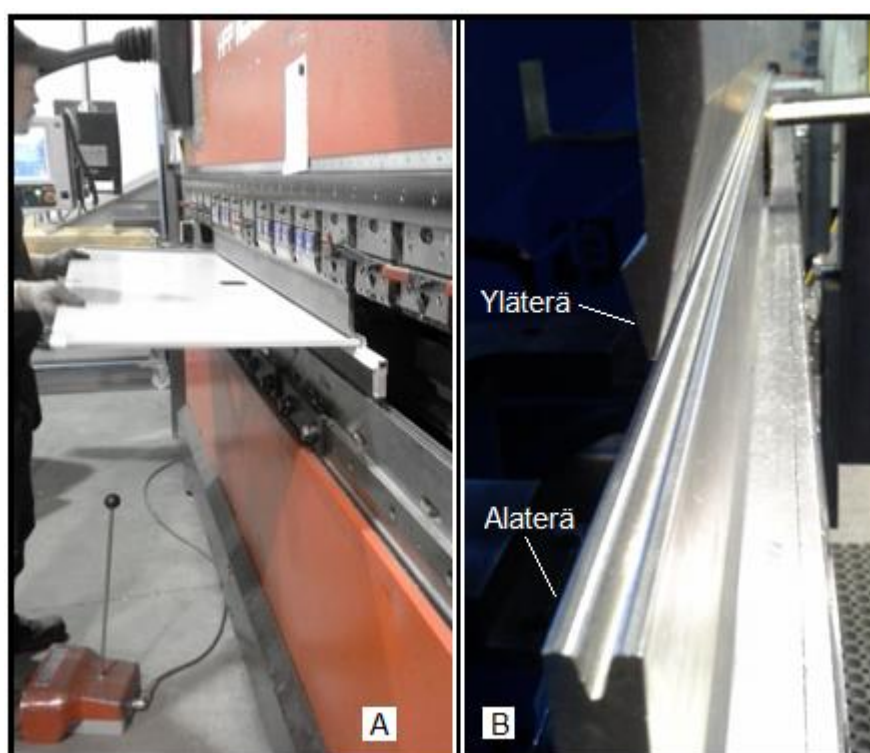
Kriittisimpiä osia muovauksen kannalta olivat takaseinä, ovet, kylkiosat ja hyllytasot. Kylkiosat ja hyllytasot särmättiin särmäysrobotilla. Särmäysrobotti kiinnittyi teräslevyn pintaan imukuppien avulla. Ohjelmoitu robotti vei levyn särmäyskoneeseen, teki tarvittavat levyn käännöt särmäyksen aikana ja pinosi valmiit kappaleet. Särmäyskoneen alaterä pysyi paikallaan särmäyksen aikana, mutta yläterä liikkui. Alaterän liikkuvat metallipalat auttoivat levyn liukumista terien päällä. Särmäyskoneeseen oli kytketty pulssianturi, joka välitti järjestelmään tietoa yläterän liikenopeudesta ja -matkasta. Särmäyskulmat olivat maksimissaan 90°. Kuvassa 8.7 on havainnollistettu särmäysrobotin toimintaa.



**Kuva 8.7.** Särmäysrobotin toiminta. Ensin robotti asetti levyn oranssiin telineeseen, jotta se sai levystä otteen juuri oikeasta kohdasta.

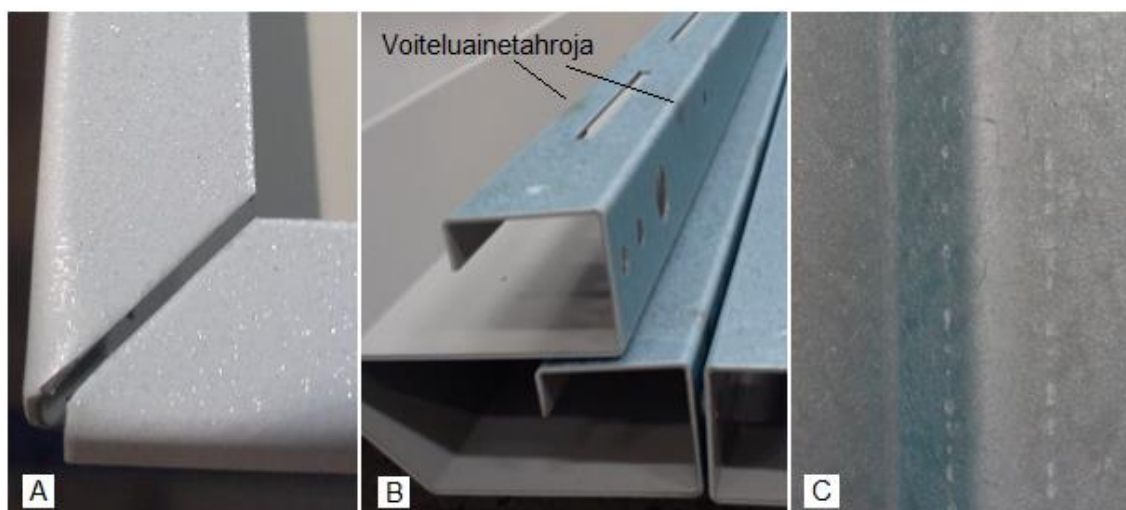
Robotilla tehtävät särmäykset onnistuivat hyvin molempien kappaleiden sekä molempien pinnoitteiden kohdalla. Pinnoitteet kestivät muovaukset murtumatta. Ainoa ongelma oli särmäysrobotin voiteluaineesta pinnoitteeseen jääneet tahrat, kuten kuvasta 8.9 B voi havaita. Etenkin karheapintaiseen KCC:n maaliin voiteluaine jätti tahroja. Kuitenkaan pinnoitteiden rikkoutumisesta ei ollut suurta riskiä seuraavissakaan työvaiheissa.

Loput särmäyksistä tehtiin käsityönä tavallisilla särmäyspuristimilla. Toisen puristimen terät oli suojattu muovikalvolla, mutta toisessa ei ollut suojausta. Vaativimmat särmäykset olivat kaappien takaseinä ja ovet, sillä kappaleet olivat kaikista isoimmat. Takaseinän särmäämiseen tarvittiin kaksi henkilöä. Kuvassa 8.8 on esitelty käytetyt särmäyspuristimet.



**Kuva 8.8.** Käsikäyttöiset särmäyspuristimet. Ovien särmäämiseen käytettiin kuvassa A näkyvää puristinta, jonka alaterä oli suojattu. Takaseinä särmättiin kuvassa B näkyvillä suojaamattomilla terillä.

Myös käsintehdyt särmäykset sujuivat lähes ongelmitta. Kuitenkin takaseinän särmäämiseen käytetyt suojaamattomat terät jättivät molempiin pinnoitteisiin jäljet. Toisaalta, koska jälki näkyy takaseinässä, joka tyypillisesti asetetaan näkymättömiin, ei pinnoitteen rikkoutumisella ole kuivissa olosuhteissa merkitystä. Kuvassa 8.9. on vielä esitettynä kaapin osille tehtyjä taivutuksia. Liitteessä 11 on kuvattuna molemmissa koeprofiloinneissa tehdyt kalusteet kokoonpantuna.



**Kuva 8.9.** Särmäyksissä tehtyjä taivutuksia. Kuvassa A näkyy oven sisäreunojen taivutus, kuvassa B särmäysrobotilla valmistettu kylkiseinä ja kuvassa C takaseinän taivutuksessa näkyvät suojaamattomista teristä aiheutuneet jäljet pinnoitteessa.

## 9 VIRHEARVIOINTI

Tässä työssä tutkittiin metallituoteteollisuuteen soveltuvien maalipinnoitteiden markkinoita. Markkinoilla olevista pinnoitteista kiinnostavimmat maalattiin laboratoriossa, ja niiden ominaisuuksia testattiin. Tuloksia tulkitaan sekä markkinatutkimuksen että testaustulosten perusteella. Johtopäätöksiä tehtäessä tulee ottaa huomioon virheen mahdollisuus työn eri osissa. Tässä luvussa käydään läpi mahdollisia virhetekijöitä, jotka liittyvät asiakkaille tehtyyn haastatteluun, laboratoriomaalaukseen, laboratoriotesteihin sekä maalauslinjalla tehtyyn koemaalaukseen. Kaikki virhetekijät on pyritty huomioimaan mahdollisimman hyvin työn kokeellisessa osassa.

### 9.1 Asiakashaastattelut

Asiakashaastattelut suoritettiin puhelimitse, ja haastattelu toteutettiin kahden ihmisen välillä. Näin ollen haastatteluihin liittyvät virhetekijät ovat pääosin inhimillisiä. Mahdolliset virheet voivat liittyä haastattelijan toimiin, haastateltavan toimiin sekä ylipäätään tutkimuksessa mukana oleviin yrityksiin.

Asiakashaastattelujen otanta oli melko pieni. Kyselyyn vastasi kahdeksan yrityksen edustaja. Näistä kahdeksasta edustajasta osa vastasi tuotteen profiloinnista ja osa lopullisen tuotteen valmistuksesta. Kahdessa tapauksessa haastatteluun vastanneiden joukossa oli tietyn tuotteen profiloinnista vastaava yritys sekä saman tuotteen valmistuksesta vastaava yritys. Näin ollen haastatteluiden perusteella saatiin vastauksia kuuteen eri tuotteeseen liittyen.

Asiakashaastattelut suoritettiin puhelimen välityksellä. Puheluita ei nauhoitettu, vaan haastattelijat teki muistiinpanoja. Muistiinpanoja ei tarkistutettu vastaajilla jälkikäteen. Inhimillisen virheen mahdollisuus on olemassa, jos haastattelijat on esimerkiksi kuullut tai kirjannut väärin. Kysymyspatteristo oli sama jokaisessa haastattelussa. Siitä huolimatta kysymysten asettelu ei ollut eksaktia, vaan eri vastaajat saattoivat käsittää kysymykset eri tavalla.

Yksi mahdollinen virhetekijä oli haastateltavan valinta. Kaikki haastateltavat eivät välttämättä olleet yrityksensä edustajista parhaita henkilöitä vastaamaan haastatteluun. Toisin sanoen eri vastaaja samassa yrityksessä olisi saattanut antaa erilaisia vastauksia työtehtävästä riippuen. Myös yritysten valinnalla on merkitystä johtopäätöksiin. Esimerkiksi kun yrityksiltä kysyttiin koristeellisista pinnoitteista, vastaukset olivat ensisijaisesti negatiivisia. Kuitenkaan kaikki tutkimuksen kohteena olevat tuotteet eivät edes olleet sellaisia, mihin koristeellisia pinnoitteita olisi voitu järkevästi käyttää.

## 9.2 Laboratoriomaalaus

Maalaus pyrittiin tekemään sillä tavoin, että se olisi mahdollisimman hyvin toistettava, jotta virheen määrä jäisi mahdollisimman pieneksi. Kuitenkin, koska maalaus tehtiin manuaalisesti, on inhimillisen virheen mahdollisuus aina olemassa. Lisäksi mittausvälineet voivat aiheuttaa virhettä. Mahdollisia virheen aiheuttajia olivat esimerkiksi erot maalauskerrosten välillä, erot uuninkäyttäjien välillä, kalvonpaksuuden mittaus, PMT:n mittaus, uunin lämpömittari ja substraatin vaihto.

Maalauksen onnistuminen vaikuttaa olennaisesti kalvonpaksuuteen. Maalaus suoritettiin viidessä osassa, jolloin eri kerrosten välisessä maalauksessa saattaa olla esimerkiksi kokemuksen aiheuttamia eroja. Kun sama applikoija tekee maalauksen monta kertaa, siitä tulee toistettavampaa kokemuksen vuoksi. Tavoitellut kalvonpaksuudet olivat hyvin pieniä, 5-30  $\mu\text{m}$ , joten pienikin nopeuden tai voiman muutos maalauksessa voi aiheuttaa virhettä kalvonpaksuuteen. Myös rinnakkaisten näytteiden välillä saattaa olla eroa samasta syystä. Maalausapplikaattori valittiin ensimmäisen maalauksen perusteella, ja sen jälkeen oletettiin kalvonpaksuuden pysyvän vakiona. Eri maalauskerrosten välisten erojen arvioimiseksi maalattiin sama referenssinäyte kahdella eri kerralla (näytteet 9 ja 30).

Uunituksen onnistuminen vaikuttaa pinnoitteen kovettumiseen ja sitä kautta sen ominaisuuksiin. Uunituksen onnistumiseen vaikuttaa muun muassa uuninkäyttäjän toiminta, sillä uuninkäyttäjä katsoo lämpömittarista (tarkkuus 1 °C) milloin laittaa näytteen uuniin ja sekuntikellosta (tarkkuus 1 s) milloin ottaa näytteet pois. PMT-alue määritetään sekuntien tarkkuudella, jolloin jopa uunin luukun avaaminen sekunnin hitaampaa voi aiheuttaa virhettä. Ensimmäisellä maalauskerralla uuninkäyttäjä oli eri kuin seuraavilla neljällä kerralla, jolloin rutiini saattoi olla erilainen. Virheen mahdollisuutta eri uuninkäyttäjien välillä pienennettiin mittaamalla joka maalauskerran alussa aika, jossa tietty PMT-alue saavutetaan.

Teippimittausmenetelmä ei ole kokemuksen mukaan täysin eksakti, vaan kovetettaessa tiettyä maalia samalla sekuntimäärällä voidaan jossain tapauksessa saavuttaa eri PMT-alueet. Maalattaessa näytettä 2 PMT-teippi loppui kesken. PMT jouduttiin osittain arvioimaan. Huonojen testaustulosten vuoksi sama referenssinäyte maalattiin myös seuraavalla kerralla (näyte 16).

Muita virheen lähteitä voivat olla käytettävät maalit ja substraatti. Jokaisella maalauskerralla avattiin uusi purkki maalia, jolloin maalit olivat aina tuoreita. Kuitenkin Purex-maali (näyte 7) oli hieman vanhempaa. Myöskään maalattaessa näytettä 16 ei avattu uutta purkkia, kun näyte 2 oli maalattu 3 viikkoa aikaisemmin. Sekoitus ennen maalaamista on tärkeää, jotta maalin kaikki komponentit jakautuvat seokseen tasaisesti. Sekoitus suoritettiin ei-koneellisesti kertakäyttölusikan avulla. Esimerkiksi näytteiden 2

ja 16 huonoja mekaanisia ominaisuuksia saattaa osaltaan selittää huono sekoitus ennen maalaamista. Neljännen maalauskeran jälkeen substraatti loppui kesken. Viidennelle maalauskeralle otettiin samaa substraattia eri erästä, ja pois suljettiin virheen mahdollisuus maalaamalla sama pinnoite molemmille substraateille (näytteet 30 ja 31).

### 9.3 Laboratoriotestit

Tässä työssä tehtyihin laboratoriotesteihin liittyy kahdenlaisia virheitä: laitteiden ja menetelmien mittauserävarmuus sekä testien tekemiseen ja tulosten arviointiin liittyvä inhimillinen virhetekijä. Laitteiden ja menetelmien aiheuttamat virhetekijät ovat inhimillisiin virhetekijöihin verrattuna mitättömät. Suurimman virheen aiheuttaa tulosten silmämääräinen tulkinta. Arvioinnin pitäminen tasaisena on haastavaa, kun näytemäärä on suuri. Vertailua näytteiden välillä tehtiin mahdollisimman paljon ja useaan kertaan, jotta varmistuttiin tulosten oikeellisuudesta. Esimerkiksi joustavuus- ja adheesiotesteissä silmämääräinen tulosten tarkastelu on ehdottomasti suurin virheenaiheuttaja.

Toinen virhetekijä adheesiotestissä, kuten myös kovuudenmäärittäyksessä ja MEK-testissä, oli testin suorituksessa käytetty voima. Voima on täysin tekijästä riippuvainen. Tässä tapauksessa virheen mahdollisuutta pienennettiin sillä, että sama henkilö teki kaikki testit.

Värin, kiillon ja kalvonpaksuuden mittausrakenteet antoivat suoraan numeerisen arvon tulokseksi. Värin ja kiillon numeerisella arvolla ei tässä työssä ollut suurta merkitystä. Fischerscope kalvonpaksuusmittarissa on anturi, joka mittaa näytteen kalvonpaksuuden alle 1 mm<sup>2</sup>:n alueelta. Kalvonpaksuus mitataan kymmenestä kohdasta eripuolilta levyä, ja tulokseksi ilmoitetaan mittauksen keskiarvo. Laboratoriomaalatuilla pinnoitteilla kalvonpaksuus saattaa vaihdella pienelläkin näytteellä paikoitellen useita mikrometrejä. Mittari ilmoittaa myös keskihajonnan. Tyypillisesti sileillä linjamaalatuilla pinnoitteilla keskihajonta on usein melko pieni (pinnoitepaksuuden ollessa (23,2–27,9) µm mittauserävarmuus on 4,5 % [53]), mutta kokemuksen mukaan struktuurisilla pinnoitteilla ero kahden mittauksen välillä saattaa olla jopa yli 20 µm. Näin ollen struktuurisilla pinnoitteilla tulosten oikeellisuuden arviointi on usein hankalaa.

Kalvonpaksuus vaikuttaa etenkin naarmunkestävyyteen. Muut naarmunkestävyydesteihin liittyvät virhetekijät ovat laitekohtaisia. Multifunction Scratcher -laitteella virhettä voi tulla huolimattomasti säädetyistä naarmutusaineista tai naarmutusterän päälle jääneistä epäpuhtauksista. Terä pyrittiin puhdistamaan jokaisen naarmutuksen jälkeen. Tulos määritetään silmämääräisesti. Clemen-laitteella tulos määräytyy jännitemittarin perusteella. Jännitemittarin viisari liikkuu nopeasti, joten sen seuraaminen on toisinaan hankalaa. Toinen mahdollinen virhetekijä Clemen-laitteen käytössä on näytteen valmistus, sillä pienikin määrä maalia näytelevyn taustalla voi vääristää tulosta.

Hankaustestissä virhetekijöitä ovat ensisijaisesti hankauspalojen valinta sekä näytteiden kiinnitys. Tässä työssä käytettiin hankauspaloina hiekkapaperia, ja eri palojen välistä tasalaatuisuutta ei tarkistettu. Hankauspalat vaihdettiin jokaisen hankauksen jälkeen. Jotta saavutettiin mahdollisimman tasainen hankausjälki, näytteet kiinnitettiin alustaan kunnolla myös näytteen keskiosasta.

## **9.4 Linjakoemaalaus**

Maalauslinjalla suoritettu pinnoitus on lähtökohtaisesti huomattavasti virheettömämpi kuin laboratoriomaalaus. Kalvonpaksuuden mittausta ja säätöä ovat pääosin automatisoivat, ja maalareiden vankka kokemus pienentää virheen mahdollisuutta. Kalvonpaksuus mitataan kuitenkin aina laadunvarmistuksen yhteydessä Fischerscopin kalvonpaksuusmittarilla. Fischerscopea käytettäessä tulee laite kalibroida aina tietylle alustalle. Kankaanpään maalauslinjan Fischerscopessa ei ollut ohjelmia juuri näissä koemaalauksissa käytetyille alustoille, joten käytettiin ohjelmia, joissa arvot olivat lähellä käytettyjä alustoja. Kalvonpaksuus varmistettiin oikeilla ohjelmilla myöhemmin Hämeenlinnassa.

KCC:n maalin kanssa oli ongelmia, jotka saattoivat aiheuttaa virhettä maalaustulokseen. Ensinnäkin KCC:n maali pumpattiin tynnyristä toiseen. Koska alkuperäistä tynnyriä ei saatu tyhjennettyä täydellisesti, on mahdollista, että tynnyrin pohjalle jäi sedimentoituneita maaliseoksen komponentteja. Toiseksi, KCC:n pinnoite oli suunniteltu maalattavaksi esikäsitellyn sinkkipinnoitteen päälle. Maalattaessa kylmävalssatun alustan päälle pinnoite ei rypyttynyt kunnolla, mikä saattaa osittain johtua alustasta.

## 10 TUTKIMUKSEN YHTEENVETO JA TULOSTEN TARKASTELU

Tässä työssä tutkittiin metallituoteteollisuuteen soveltuvia coil coating -pinnoitteita ja niiden markkinoita. Työn toimeksiantaja oli Ruukki Metals Oy, joka on nyt osa ruotsalaista SSAB-konsernia. Työn tarkoituksena oli tutkia voisiko Ruukin tuoteportfoliota yhtenäistää niin, että olisi yksi hyvä pinnoite kuhunkin tarkoitukseen jokaiselle asiakkaalle erikseen räätälöidyn ratkaisun sijaan. Lisäksi työssä tutkittiin sisäkäyttöpinnoitteiden markkinoiden kysyntää suhteessa tarjontaan. Tarkoituksena oli selvittää onko markkinoilla pinnoitteita, jotka voisivat täydentää Ruukin valikoimaa tai korvata Ruukin nykyisiä tuotteita. Pitkän tähtäimen tavoitteena on luoda korkealaatuinen sisäkäyttötuotteiden tuoteperhe, johon kuuluisi esimerkiksi yksi kulutusta kestävä pinnoite, yksi joustava pinnoite, yksi lämpöä kestävä pinnoite sekä koristeellisia pinnoitteita.

Työn teoriaosuudessa selvitettiin muun muassa jatkuvatoimista pinnoitusmenetelmää sekä coil coating -maalien raaka-aineita ja pinnoiteominaisuuksia. Sisäkäyttöpinnoitteilta ei vaadita UV-säteilyn eikä sääolosuhteiden kestävyttä, kuten ulkokäyttöpinnoitteilta, joten tärkeimmät pinnoiteominaisuudet ovat joustavuus ja kulutuskestävyys sekä ulkonäkö. Joustavuus on yksi tärkeimmistä pinnoitteen ominaisuuksista, sillä elinkaarensa aikana pinnoitteeseen kohdistuu iskuja, venytystä ja taivutusta. Joustavuuden ohella adheesiolla on suuri merkitys pinnoitteen suojaus- ja ulkonäköominaisuuksien säilymisessä muovauksessa. Kulutuskestävyys on pinnoitteen toinen tärkeä mekaaninen ominaisuus. Kulutuskestävyyttä vaaditaan pinnoitteelta erityisesti loppukäytössä, mutta myös muovauksen ja kuljetuksen aikana pinnoite altistuu kulutusrasitukselle. Käytännössä ulkonäkö, kuten väri, kiilto ja struktuuri, on suurin syy, miksi maalipinnoitettua terästä käytetään. Ulkonäköominaisuuksia varioimalla on mahdollista saada aikaiseksi kattava valikoima erinäköisiä pinnoitteita.

Työn kirjallisuusosuuden toisessa osassa tutkittiin pinnoitemarkkinoiden tarjontaa ja kysyntää. Pinnoitteiden tarjontaa selvitettiin ottamalla yhteyttä muutamien coil coating -maaleja valmistaviin yrityksiin sekä tarkastelemalla niiden internet-sivuja. Tarkoituksena oli selvittää millaisia pinnoitteita maalintoimittajilla on tarjolla sisäkäyttötuotteisiin, jossa tarvitaan erityistä joustavuutta, kulutuskestävyyttä, lämmönkestävyyttä tai ulkonäköä. Tutkimuksessa selvisi, että jokaisella tutkimukseen osallistuneella maalinvalmistajalla oli tarjolla paljon etenkin kulutuskestäviä, joustavia ja koristeellisia pinnoitteita. Lämpöä kestäviä pinnoitteita taas ei löytynyt kuin yhdeltä toimittajalta, minkä vuoksi kyseinen kategoria tiputettiin myöhemmästä tutkimuksesta pois.



Sisäkäyttöpintoitteiden kysyntää tutkittiin asiakashaastatteluiden avulla. Tehtiin puhelinhaastattelu, johon pyrittiin saamaan vastauksia viimeaikoina Ruukin premium-luokan sisäkäyttöpintoitteita tilanneilta asiakkailta. Haastattelussa selvitettiin asiakkaiden pintoitteiden käyttöä, prosessia sekä pintoiteominaisuuksien merkitystä. Kysynnän tutkimisessa hyödynnettiin myös Ruukin teknisen asiakaspalvelun työntekijöiden asiantuntemusta muiden yritysten osalta haastatteleamalla heitä. Asiakashaastatteluissa selvisi, että prosessissa joustavuus ja kulutuksenkestävyys ovat lähes yhtä tärkeitä ominaisuudet. Toistuvana ongelmana koettiin naarmujen syntyminen profilointivaiheessa. Tuotteen loppukäytössä vaadittavat pintoiteominaisuudet riippuivat käyttökohteesta. Mekaanisia ominaisuuksia pidettiin keskimäärin hieman ulkonäköä tärkeämpänä. Mekaanisista ominaisuuksista joustavuutta pidettiin kulutuskestävyyttä tärkeämpänä. Ulkonäössä tärkein ominaisuus oli tasalaatuisuus. Koristeellisia pintoitteita ei ollut juuri käytetty, ja asenne niitä kohtaan vaihteli yritysten välillä.

Työn kokeellisessa osuudessa testattiin maalinvalmistajien markkinoilla olevia maalipintoitteita, ja vertailtiin niitä Ruukin nykyisiin pintoitteisiin. Ensimmäisessä vaiheessa valittiin markkinatutkimuksessa esille tulleista pintoitteista mielenkiintoisimmat, jotka maalattiin laboratoriossa. Pintoitteista testattiin joustavuutta, kulutuskestävyyttä, adheesiota ja kovettumisen onnistumista sekä määritettiin visuaalisten ominaisuuksien numeeriset arvot. Kaikista joustavin pintoite oli testitulosten perusteella Beckersin Flex 1 -pintoite, joka on kehitetty Ruukin Pural RWS -pintoitteen pohjalta. Muita joustavimpia pintoitteita olivat Ruukin Pural, Purex ja ARS-polyesteri sekä KCC:n Deco 2 ja Robust 1 -pintoitteet. Myös Valsparin Robust 1 ja Beckersin Robust 1 pärjäsivät hyvin. Kulutuskestävyydesteissä erityisen hyvin pärjasi Beckersin Deco 3 -pintoite. Ruukin Pural, Purex ja ARS-polyesteri olivat myös kaikkein kulutuskestävimpien pintoitteiden joukossa. Muita kulutuskestäviä pintoitteita olivat KCC:n kolmikerroksinen Deco 1 -pintoite ja KCC:n Flex-pintoite, joka sai paremmat tulokset Ruukin primerilla kuin pintoitesysteemin omalla primerilla, KCC Robust 2 ja BIC Robust 2.

Testitulosten perusteella pintoitteet pisteytettiin ja järjestettiin kulutuskestävyytensä, joustavuutensa sekä lisäominaisuuksiensa perusteella paremmuusjärjestykseen, jonka perusteella valittiin kaksi pintoitetta koemaalaukseen Ruukin Kankaanpään maalipinnoituslinjalle. Toinen valituista pintoitteista oli KCC Deco 2 B, joka oli joustava, hyvän värinen, yksikerroksinen ja niin ollen pinnoituskustannuksiltaan edullinen, jonka lisäksi pintoitteella oli koristeellinen ulkonäkö. Toiseksi pintoitteeksi valittiin BIC Deco 3. Pintoitteella oli erittäin hyvä naarmutuksenkestävyys sekä koristeellinen helmiäisefekti strukturoidussa pintalakassa. Koemaalattu materiaali toimitettiin koeprofiloitavaksi kahdelle Ruukin asiakasyritykselle, joten substraateiksi koemaalaukseen valittiin yritysten tarpeen mukaisesti sinkitty teräs sekä kylmävalssattu teräs.

Pinnoitteen BIC Deco 3 maalaus sujui pääasiassa hyvin. Alussa oli ongelmia pohjamaalin kalvonpaksuuden kanssa, sillä tavoitteeseen nähden kalvonpaksuus oli liian pieni. Kun kalvonpaksuutta nostettiin, maalattuun pintaa muodostui tummia läiskiä, joiden muodostuminen loppui vasta kun kalvonpaksuus laskettiin alkuperäisiin lukemiin. Koemaalaus onnistui ainakin osittain molemmille substraateille. KCC Deco 2 B -pinnoitteen maalauksessa oli enemmän haasteita. Kylmävalssatun substraatin päälle maalaus ei onnistunut ollenkaan. Struktuuri ei noussut oikean näköiseksi missään vaiheessa, vaan pinta näytti olevan täynnä pintavirheitä. Sinkityn teräksen maalauksen alussa kalvonpaksuus nousi vahingossa liian korkeaksi, jolloin pinnoite alkoi sattumalta näyttää oikealta. Kun kalvonpaksuus laskettiin lähemmäksi tavoitearvoa, struktuuri laski. Saatiin osittain onnistunutta materiaalia. Molempien pinnoitteiden koeprofiloinnit onnistuivat hyvin. Pinnoitteet kestivät käsittelyn ja muovauksen murtumatta.

## 11 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDE- EHDOTUKSET

Johtopäätöksenä markkinatutkimuksesta voidaan todeta, että markkinoilla on tarjolla hyvin paljon erilaisia pinnoitteita etenkin joustavuutta ja kulutuskestävyyttä vaativiin sovelluksiin. Käyttäjien mukaan mekaaniset ominaisuudet ovat tärkeimmät sisäkäyttöpinnoinneissa, joten siinä mielessä kysyntä kohtaa tarjonnan. Testitulosten mukaan Ruukin Pural, Purex ja ARS-polyesteri ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan markkinoiden parhaimpia pinnoitteita. Näin ollen tarvetta pinnoitteiden korvaamiselle ei ole. Lämpöä kestäviä pinnoitteita ei markkinoilla tällä hetkellä ole kovinkaan montaa. Kaikilla tuottajilla on omat mieltymyksensä pinnoitteen ulkonäköön, mutta kaikkein tärkeintä ulkonäössä on sen tasalaatuisuus.

Koristeelliset pinnoitteet jakoivat mielipiteitä, mutta yleisesti ottaen niille ei nähdä olevan markkinoita. Koristeellisia pinnoitteita löytyy maalinvalmistajien tuotevalikoimasta huomattavan paljon verrattuna kysyntään. Yksi ongelma on, että coil coating -teollisuudessa tilattavat määrät ovat liian suuria, joten koristeelliset pinnoitteet eivät mene kaupaksi. Lisäksi osa ajattelee, että koristeellisella maalilla pinnoitetun materiaalin valmistaminen merkitsee arkkitehtien huomiotta jättämistä tuotesuunnittelussa. Mikäli koristeellisia pinnoitteita halutaan saada kaupaksi, niissä täytyy olla myös jokin muu erityisen hyvä ominaisuus. Esimerkiksi tässä työssä koemaalaukseen valituissa pinnoitteissa oli koristeellisen efektin lisäksi myös hyvät mekaaniset ominaisuudet. Kumpikin toisessa vaiheessa testatuista pinnoitteista olisi hyvä lisä Ruukin valikoimaan. Koeprofiloinnit onnistuivat ja pinnoitteista toisaalta pidettiin, mutta toisaalta oltiin myös sitä mieltä, että väri on väärä massatuotantoon. Peruseriaate vaikuttaa olevan, että mitä yksinkertaisempi ulkonäkö, sen parempi.

Koska markkinoita ei koristeellisille pinnoitteille ole, markkinat pitää luoda. Etenkin sisäkäyttöön ohutkalvoiset koristeelliset pinnoitteet ovat hyviä, sillä ne ovat edullisia, ja metalli- tai kiillepigmenttien aiheuttama kimallus peittää pieniä säröjä. Vastaavasti ulkokäyttöpinnoinneilla säröily vaikuttaa suoraan sen pitkäaikaiskestävyyteen heikentävästi. Ratkaisu olisi kehittää tuote, johon koristeellinen pinnoite sopii ja missä siitä olisi hyötyä. Tällaisia tuotteita voisivat olla esimerkiksi jotkut kuluttajatuotteet, kuten naulakot tai kenkätelineet, toimistohuonekalut, päiväkotien ja koulujen huonekalut sekä ilmastointikanavien näkyvät osat, esimerkiksi kierresaumaputket. Asiakkaille voisi alkaa tarjota oman brändinsä värisiä koristeellisia pinnoitteita, ja sillä tavalla saada heidät kiinnostumaan.

## LÄHTEET

- [1] Rautaruukki Oyj. 2014. Ruukin yleisesitys. Julkinen esittelymateriaali.
- [2] SSAB 2014. SSAB lyhyesti. [WWW]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://www.ssab.com/fi/Products--Services/About-SSAB/SSAB-90-sekunnissa/>
- [3] Metallinjalostajat ry. 2009. Teräskirja. 8. painos. Tampere, Esa Print Oy. 104 s.
- [4] Rautaruukki Oyj. Sisäinen koulutusmateriaali. 143 s.
- [5] Kivihaka, K. Ruukki Metals Oy. 2014. Sisäinen esittelymateriaali. 50 s.
- [6] Sander, J. 2014. Coil Coating. Hanover, Vincentz Network. 185 s.
- [7] Mustikkamaa, J. Järvinen, S. 2010. Rakennuspeltityön ammattilaiseksi. Tammerprint. 104 s.
- [8] Kankaanpään maalipinnoituslinja. 2013. Sisäinen esittelymateriaali. 3 s.
- [9] Risto Sipilä. 27.2.2002 (sisäinen raportti)
- [10] Antti Markkula, Katri Kivihaka. SSAB Oy Ab. Perehdytys 2014.
- [11] Kaisa Laurila. Product development engineer, SSAB Oy Ab. Henkilökohtainen tiedonanto. 08.10.2014.
- [12] Jyrkäs, K. Kajaste, V. Lepistö, T. Nummela, N. Nuutinen, J. Sipilä, R. Vasko, J. 1998. Muovipinnoitetut ohutlevyt ja niiden käyttö. Helsinki, Metalliteollisuuden kustannus Oy. 71 s.
- [13] Kallioinen, I. Sarvimäki, I. Takala, A. Ådahl, R. Maalialan materiaalioppi. 1981. Helsinki, Metalliteollisuuden kustannus Oy. 71 s.
- [14] Diplomkurs Färger och Lacker. 2008. STF Ingenjörsutbildning AB. 15-37 s.
- [15] Van Eijnsbergen, J. F. H. Duplex Systems, Hot-dip Galvanizing plus Painting. 1994. The Netherlands, Elsevier Science B. V. 210 p.
- [16] Wicks, Z. W. Jr. Jones, F. N. Pappas, S. P. Organic Coatings: Science and Technology. Vol 1. Film Formation, Components, and Appearance. 1992. Canada, John Wiley & Sons, Inc. 343 p.
- [17] Wicks, Z. W. Jr. Jones, F. N. Pappas, S. P. Organic Coatings: Science and Technology. Vol 2. Applications, Properties, and Performance. 1994. Canada, John Wiley & Sons, Inc. 383 p.

- [18] Ueda, K. Kanai, H. Amari, T. Viscoelastic Properties of Paint Films And Formability in Deep Drawing or Pre-painted Steel Sheets. 2002. Progress in Organic Coatings 45. pp. 15–21.
- [19] Ueda, K. Kanai, H. Amari, T. Formability of Polyester/Melamine Pre-painted Steel Sheets from Rheological Aspect. 2002. Progress in Organic Coatings 45. pp. 267–272.
- [20] SSAB 2014. Sisäinen tuotekehityslaboratorion työohjeisto.
- [21] ISO 7724-1 Paints and Varnishes - Colorimetry - Part 1: Principles
- [22] ISO 7724-3 Paints and Varnishes - Colorimetry - Part 3: Calculation of Colour Difference
- [23] Basu, S. K. Scriven, L. E. Francis, L. F. McCormick, A. V. Mechanism of Wrinkle Formation in Curing Coatings. 2005. Progress in Organic Coatings 53. pp. 1–16.
- [24] Antti Markkula. 23.11.2009 (sisäinen raportti)
- [25] Juha-Matti Lehtonen. 2.7.2014. (sisäinen raportti)
- [26] Opintomateriaali: MOL-4500 Metallien liittämismenetelmät: Liimaus liittämismenetelmänä. 2012. Tampereen teknillinen yliopisto. Materiaaliopin laitos.
- [27] Arcelor Group. Organic Coated Steel – User Manual. 2004. [WWW]. [Viitattu: 1.2.2015]. Saatavissa: [http://www.szs.ch/user\\_content/editor/files/Downloads\\_Stahlwerkstoffe/organic%20coated%20steel.pdf](http://www.szs.ch/user_content/editor/files/Downloads_Stahlwerkstoffe/organic%20coated%20steel.pdf)
- [28] Business Dictionary. 2015. [WWW]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://www.businessdictionary.com/definition/white-goods.html#ixzz32RARFyb1>
- [29] Teemu Saarnivuo. Product manager, SSAB Oy Ab. Henkilökohtainen tiedonanto. 30.06.2014.
- [30] Business Dictionary. 2015. [WWW]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://www.businessdictionary.com/definition/brown-goods.html#ixzz32RA0lunX>
- [31] Rautaruukki Oyj. 2014. Esite. Kaikki katon ja julkisivun rakentamiseen.
- [32] Rautaruukki Oyj. 2012. Esite. Kylmävalssatut, metalli- ja maalipinnoitetut ohutlevyteräket.

- [33] Fried, J. R. Polymer Science and Technology. 2. ed. 2003. USA, Pearson Education, Inc. 582 p.
- [34] The Valspar Corporation. 2015. Our Company. [WWW]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://valsparglobal.com/about/>
- [35] The Valspar Corporation. 2015. Products. [WWW]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://www.valsparcoilextrusion.com/en/products/>
- [36] Esa Juuti. Technical manager, The Valspar (Finland) Corporation Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. 03.11.2014.
- [37] KCC Corporation. 2011. KCC at a glance. [WWW]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://www.kccworld.co.kr/eng/about/glance.asp>
- [38] KCC Corporation. 2012. KCC Coil Coating (Home appliance use).
- [39] KCC Coil Coating Department. New Product Presentation for Ruukki. 1.8.2014.
- [40] About Beckers. [WWW]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://www.beckers-group.com/en/About-Beckers/>
- [41] Samples for Ruukki – General Engineering Project. 10.7.2014.
- [42] BASF at a glance. [WWW]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://www.basf.fi/ecp1/Finland/en/wcms:/1/path%5Bwcmstore/CorporateWebs/ite/content/about-basf/index%5D>
- [43] AkzoNobel N.V. 2015. About AkzoNobel. [WWW]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <https://www.akzonobel.com/coilcoatings/aboutus/>
- [44] PPG. About Us. [WWW]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://www.ppgideascales.com/About-Us.aspx>
- [45] Dura Coat Products, Inc. 2002-2009. About Us. [WWW]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://www.duracoatproducts.com/about/>
- [46] KelCoatings Limited. 2012. Personal Service In Custom Coatings. [WWW]. [Viitattu 1.2.2015]. Saatavissa: <http://www.kelcoatings.com/about.html>
- [47] Terhi Rissa. 21.4.2009 (sisäinen raportti)
- [48] Terhi Rissa. 31.10.2008 (sisäinen raportti)
- [49] Anna Pynnönen. 12.12.2005 (sisäinen raportti)
- [50] Elisa Haapala. 31.8.2009 (sisäinen raportti)

- [51] Kaisa Ahvonen, Tiina Vuorio. 24.9.2008 (sisäinen raportti)
- [52] Piirainen, M. Neulanaarmutuslaitteiden soveltuvuus pinnoitteen kovuuden testaamiseen. Riihimäki 2007. Riihimäen Ammattioppilaitos. Julkaisu. 28 s.
- [53] Päivi Hyppönen. 03.07.2012 (sisäinen raportti)

## LIITTEET

Liite 1: Kysymyspatteristo asiakashaastatteluihin

Liite 2: Maalinvalmistajien tavoitekalvonpaksuudet ja PMT-arvot

Liite 3: Määritetyt kovetusajat ja maalausapplikaattoreiden koot

Liite 4: Näytteistä mitatut väri- ja kiiltoarvot, värin ja kiillon sanallinen arviointi sekä toteutunut kalvonpaksuus ja sen erotus prosentteina tavoitekalvonpaksuuteen

Liite 5: Joustavuus-, adheesio- ja kovettumisen onnistumista arvioivien testien tulokset

Liite 6: Kalvonpaksuuden vertailu mittaustuloksiin

Liite 7: Kovuus- ja kulutuskestävyystestien tulokset.

Liite 8: Pinnoitteiden pisteytys testaustulosten mukaan

Liite 9: Testatut näytteet paremmuusjärjestyksessä Flex- ja Robust-kategorioihin jaettuna.

Liite 10: Koeajoraportti

Liite 11: Koeprofiloidut tuotteet



# Liite 1: Kysymyspatteristo asiakashaastatteluihin.

- Esittely: Nia Korpela, Ruukilta Hämeenlinnasta
- Ruukilla on käynnistetty tuotekehitysprojekti, jossa selvitetään **maalatun** ohutlevyteräksen käyttöä metallituoteteollisuudessa
- Tarkoituksena on siis selvittää mitä pinnoitteelta vaaditaan, ja miten niitä pitäisi **kehittää** -> **Tavoitteena laadun ja tarjoaman parantaminen**
- Tästä näkökulmasta haluaisin kysellä yrityksenne valmistamasta tuotteesta ja tuotantoprosessista

Oletteko oikea henkilö vastaamaan kysymyksiini?

Ehdittekö nyt vastata; menee n. 15-20min?

- Kiva!
  - Kirjoitan tutkimuksen tulosten pohjalta myös opinnäytetyön. Koska opinnäytetyö on julkinen, haluan varmistaa, voinko käyttää yrityksenne ja vastaajan nimeä työssä
- Voidaan myös ainoastaan mainita minkä alan yritys ja valmistettava tuote

Milloin olisi sopivampi aika?

- Huomenna? \_\_\_\_\_
- Ensi viikko? \_\_\_\_\_
- Mikä päivä? \_\_\_\_\_
- Mihin aikaan \_\_\_\_\_

Kiitos! Hyvää päivän jatkoa!

Kuka olisi sopivampi?

- Nimi \_\_\_\_\_
- Yritys \_\_\_\_\_
- Sposti \_\_\_\_\_
- Puhelin \_\_\_\_\_

1. Olenko ymmärtänyt oikein, että valmistatte Ruukin maalipinnoitetusta teräksestä \_\_\_\_\_ tuotetta? Voitko kertoa konkreettisen esimerkin, missä tuotetta käytetään?

Tässä \_\_\_\_\_ (tuotteen nimi) teillä on käytössä \_\_\_\_\_ pinnoite, eikö? Väri? \_\_\_\_\_

Käytätttekö lisäksi jotain muuta Ruukin pinnoitetta joko tämän tai jonkun muun tuotteen valmistusmateriaalissa? \_\_\_\_\_

Onko käytössänne joskus ollut tähän \_\_\_\_\_ (tuote) käytössä jokin muu pinnoite? \_\_\_\_\_

Miksi olette siirtäneet nykyiseen pinnoitteeseen \_\_\_\_\_

Miksi olette päättäneet tähän pinnoitteeseen?

Onko pinnoite kaikin puolin sopiva tuotteeseen? \_\_\_\_\_

Mitä vikaa siinä on? \_\_\_\_\_

→ Miten sitä voisi kehittää? \_\_\_\_\_

Hyvä!

2. Kuinka paljon yrityksenne käyttää maalipinnoitettua terästä suhteessa maalaamattomaan, sinkittyyn teräkseen? \_\_\_\_\_

↓

Mihin tarkoitukseen sinkittyä? \_\_\_\_\_

↓

Pulverimaalataanko tuote jälkikäteen? \_\_\_\_\_

↓

Onko pulverimaalauksessa ollut ongelmia? \_\_\_\_\_

↓

Mikä huonoa? \_\_\_\_\_

↓

Miksi ette käytä valmiiksi maalipinnoitettua terästä? \_\_\_\_\_

3. Vaatimukset pinnoitteelta

- Lopullinen tuote: Mitä ominaisuuksia pinnoitteelta vaaditaan käyttökohteessa? \_\_\_\_\_
- Prosessi: Mitä ominaisuuksia pinnoitteelta vaaditaan prosessointivaiheessa? \_\_\_\_\_

→ Mahdolliset riskivaiheet prosessoinnin aikana? \_\_\_\_\_

- Suojakalvo: Tuleeko kelat suojakalvoitettuna? \_\_\_\_\_

↓

Onko käytön yhteydessä ollut joskus jotain vaikeuksia? \_\_\_\_\_

↓

Selvä! \_\_\_\_\_

↓

Mitä mieltä olette suojakalvon käytöstä? \_\_\_\_\_

↓

Olisiko teillä mahdollisuus käyttää suojakalvoa? \_\_\_\_\_

↓

Eikö ole tarvetta vai miksette käytä? \_\_\_\_\_

↓

Millaisia? \_\_\_\_\_

↓

Kannattaisiko Ruukin mielestäsi panostaa suojakalvojen kehittämiseen? \_\_\_\_\_

4. Arvot

- Mekaaniset ominaisuudet: Asteikolla 1-5 (5 paras) kuinka tärkeä/olennainen tuotteenne kannalta on pinnoitteen
  - Joustavuus \_\_\_\_\_
  - Kulutuksen kestävyys \_\_\_\_\_
  - Muita tärkeitä ominaisuuksia? \_\_\_\_\_

- Kumpi on tärkeämpi, ulkonäkö vai mekaaniset ominaisuudet? Jaa 5 pistettä ulkonäön merkityksen ja mekaanisten ominaisuuksien merkityksen välillä tuotteen kannalta:  
Ulkonäkö: \_\_\_\_\_ Mekaaniset ominaisuudet: \_\_\_\_\_
- Ulkonäkö: Mitkä ulkonäköominaisuudet ovat tärkeimpiä \_\_\_\_\_ tuotteen kannalta: Väri, kiiltoaste, pinnan muoto...? \_\_\_\_\_

- Koristeelliset pinnotteet ovat pinnotteita, joiden ulkonäkö tuo niihin lisäarvoa. Tällaisia pinnotteita voivat olla esimerkiksi eri katselukulmista väriä vaihtava, helmiäispinta tai metallinhohtoinen maali (esimerkkejä). Onko teillä ollut koskaan käytössä tai oletteko harkinneet ottavanne käyttöön koristeellisia pinnotteita (johonkin tuotteeseen)?

Kilpailijoista erottuminen

Missä tuotteessa? \_\_\_\_\_

Millainen pinnote? \_\_\_\_\_

Värien määrä \_\_\_\_\_

Kiiltävä/matta \_\_\_\_\_

Tekstuuri/sileä \_\_\_\_\_

Jos mietitte nyt tätä \_\_\_\_\_ tuotetta.  
Haluaisitte siihen jonkinlaisen koristepinnan. Jos saisitte vapaat kädet, millainen pinnote olisi ulkonäöltään?

Mikä mieltä olette niistä/  
Voisitteko harkita valmistavanne \_\_\_\_\_ tuotetta/muuta tuotetta koristeellisella pinnalla?

Miksei? \_\_\_\_\_

Kannattaisiko Ruukin panostaa tällaisten tuotteiden kehittämiseen? \_\_\_\_\_

## 5. Yhteistyö

Projektin lopullisena tavoitteena on tuottaa valmis profiloitu tuote yhteistyössä asiakasyrityksen kanssa. Olisitteko kiinnostuneet tällaisesta yhteistyöstä?

Kokeilu tehdään pienellä mittakaavalla. Tieteen nimissä Ruukki toimittaa koemateriaalin omalla kustannuksellaan

→ Täätitä meiltä joku tulisi seuraamaan koeprofiointia

- Koeprofiointi tehtäisiin joskus lokakuun alussa, jos teille räätälöity tuote on toimiva laboratoriomittakaavassa/osoittautui toimivaksi testeissämme.

Okei! Kiitos haastattelusta

Hyvää päivän jatkoa!

**Varmista nimi, yritys, titteli!**

Liite 2: Maalinvalmistajien tavoitteelliset kalvonpaksuudet ja PMT-arvot

Näytenro	1. kerros		2. kerros		3. kerros	
	PMT [°C]	Dry FT [µm]	PMT [°C]	Dry FT [µm]	PMT [°C]	Dry FT [µm]
1	232	16.3	-	-	-	-
2	232-241	20	232-241	13	-	-
3	241-249	20	249-260	30	-	-
4	216	16.3	232	8.7	-	-
5	224-232	6	232	16.3	-	-
6	224-232	6	232	16.3	-	-
7	224-232	6	249-254	20	-	-
8	224-232	6	232	16.3	-	-
9	224-232	6	241-249	23	-	-
10	224-232	6	232	16.3	-	-
11	224-232	6	216	16.3	232	8.7
12	224-232	6	241-249	20	241-249	10
13	241-249	20	241-249	10	-	-
14	216-224	5	224-232	20	-	-
15	224-232	20	-	-	-	-
16	232-241	20	232-241	13	-	-
17	232	16.3	-	-	-	-
18	224-232	6-8	249-254	26-30	-	-
19	216	7-10	216-224	18-20	-	-
20	216-224	12-15	216-224	15-18	-	-
21	216-224	18-22	216-224	15-18	-	-
22	216	16-18	216-224	15-18	-	-
23	216	16-18	216-224	15-18	-	-
24	216-224	14-16	224-232	18-22	-	-
25	216	16-18	216-224	15-18	-	-
26	216	16-18	232	18-20	-	-
27	216	16-18	216-224	15-18	-	-
28	216-224	10-12	232	15-17	-	-
29	193	14-16	224	9-11	-	-
30	224-232	6	241-249	23	-	-
31	224-232	6	241-249	23	-	-
32	224-232	6	224-232	20	-	-
33	224-232	6	216-224	20	-	-
34	224-232	6	216-224	20	-	-
35	224-232	6	216-224	20	-	-
36	224-232	6	224-232	20	-	-
37	216-224	5	224-232	20	-	-
38	216-224	15	-	-	-	-
39	216-224	15	-	-	-	-
40	216-224	15	-	-	-	-
41	216-224	15	-	-	-	-
42	216-224	6	230-240	15	235-245	10

Liite 3. Näytteille määritetyt kovetusajat ja applikaattoreiden koot.

	1. kerros		2. kerros		3. kerros	
Näytenro	Bar coater	Curing time [s]	Bar coater	Curing time [s]	Bar coater	Curing time [s]
1	28	38	-	-	-	-
2	42	38	22	38	-	-
3	32	42	32	47	-	-
4	32	30	16	34	-	-
5	16	37	28	36	-	-
6	16	37	28	36	-	-
7	16	37	22	46	-	-
8	16	37	26	36	-	-
9	16	37	26	41	-	-
10	16	37	22*	36	-	-
11	16	37	30	29	16	34
12	16	37	36	41	26*	40
13	42	42	26*	40	-	-
14	12	30	44	34	-	-
15	44	35	-	-	-	-
16	36	38	16	39	-	-
17	28	38	-	-	-	-
18	16	36	42	46	-	-
19	22	31	26	31	-	-
20	32	34	26	31	-	-
21	34	34	32	31	-	-
22	44	31	22	31	-	-
23	44	31	30	30	-	-
24	44	34	26	35	-	-
25	34	32	26	32	-	-
26	42	31	30	37	-	-
27	42	31	26	32	-	-
28	42	32	30	37	-	-
29	22	22	22	34	-	-
30	16	37	42	41	-	-
31	16	37	42	41	-	-
32	16	37	44	37	-	-
33	16	37	26	31	-	-
34	16	37	34	33	-	-
35	16	37	33	32	-	-
36	16	37	44	35	-	-
37	12	33	44	35	-	-
38	22	33	-	-	-	-
39	22	33	-	-	-	-
40	22	33	-	-	-	-
41	22	33	-	-	-	-
42	12	31	22	35	16	37

Liite 4. Näytteistä mitatut väri- ja kiiltoarvot, värin ja kiillon sanallinen arviointi sekä toteutunut kalvonpaksuus ja sen erotus prosentteina tavoitekalvonpaksuuteen

Näyte	Väri			Sanallinen		Kiilto	Kalvonpaksuus	
	L	a	b	Väri	Kiilto	60°	Toteutunut	Erotus %
2	93.75	-2.4	2.91	Valkoinen	Puolikiiltävä	46.7	35.4	7.2
3	94.89	-1.51	2.05	Valkoinen	Matalakiiltainen	18.9	40.5	19.1
4	27.5	0	-0.18	Musta	Satiini	23.9	19.8	20.8
5	26.59	-0.05	-0.65	Musta	Erittäin kiiltävä	93.7	21.6	3.2
6	52.18	-0.88	-0.17	Harmaa	Erittäin kiiltävä	88.1	19.4	12.8
7	24.57	-0.11	-0.45	Musta	Matta	7.9	24.0	7.9
8	91.03	-1.51	-1.83	Valkoinen	Erittäin kiiltävä	86.7	18.5	16.9
9	29.01	-0.28	-1.05	Musta	Matta	4.2	23.8	18.1
11	26.33	-0.02	-0.21	Harmaa	Satiini	37.6	23.6	5.6
10	54.67	-0.24	-0.88	Musta	Satiini	25.3	26.9	13.2
12	47.78	-14.87	1.93	Pinkki/Vihreä	Puolikiiltävä	58.9	38.2	6.1
13	47.78	-14.79	1.85	Pinkki/Vihreä	Puolikiiltävä	57.0	29.2	2.6
14	25.5	-0.17	-1.09	Musta	Matalakiiltainen	19.3	17.8	28.7
15	25.44	-0.16	-1.08	Musta	Matalakiiltainen	19.2	13.1	34.5
16	93.57	-2.44	2.53	Valkoinen	Puolikiiltävä	57.0	31.4	5.0
17	60.52	12.89	-30.22	Violetti	Erittäin kiiltävä	117.0	15.5	5.2
18	93.75	-0.17	1.13	Valkoinen	Puolikiiltävä	45.8	43.3	23.7
19	79.16	0.64	7.77	Beige	Kiiltävä	80.0	24.9	9.6
20	84.76	-0.47	-0.75	Vaalea harmaa	Satiini	24.3	27.7	7.5
21	94.6	-1.53	-0.93	Valkoinen	Satiini	22.2	30.8	15.6
22	27.33	0.31	1.43	Musta	Satiini	23.5	30.1	10.2
23	36.52	-12.1	3.92	Vihreä	Matalakiiltainen	19.5	28.4	15.3
24	91.8	-1.41	-4.47	Valkoinen	Kiiltävä	79.5	27.4	21.7
25	48.86	38.49	18.63	Punainen	Satiini	23.4	30.8	8.2
26	46.85	-1.06	-2.18	Harmaa	Matalakiiltainen	14.9	29.6	17.8
27	31.44	9.36	-21.95	Violetti	Satiini	21.0	31.8	5.1
28	24.66	-0.07	-0.66	Musta	Matalakiiltainen	18.0	29.7	8.1
29	38.38	-1.15	-3.96	Harmaa	Satiini	35.6	26.9	7.6
30	28.83	-0.26	-1.09	Musta	Matta	5.0	35.3	21.8
31	28.8	-0.28	-1.07	Musta	Matta	5.0	34.4	18.6
32	91.73	-0.93	2.63	Valkoinen	Matalakiiltainen	18.6	27.9	7.1
33	91.23	-0.85	1.57	Valkoinen	Matalakiiltainen	17.0	30.2	16.0
34	93.58	-1.2	-1.18	Valkoinen	Puolikiiltävä	50.6	30.2	16.2
35	93.32	-1.21	-1.3	Valkoinen	Puolikiiltävä	40.6	31.8	22.3
36	92.97	-1.24	-1.17	Valkoinen	Kiiltävä	78.9	27.4	5.4
37	93.05	-1.42	-1.48	Valkoinen	Kiiltävä	74.6	25.8	3.2
38	81.84	-2.22	-1.61	Vaalea harmaa	Matalakiiltainen	12.9	16.1	7.3
39	77.81	-5.61	-4.21	Vaalea sininen	Matta	9.2	16.6	10.7
40	74.94	3.29	2.22	Vaalea punainen	Matta	8.9	16.4	9.5
41	75.82	3.1	6.66	Vaalea oranssi	Matta	8.7	17.7	18.2
42	26.19	-0.2	-0.67	Musta	Erittäin kiiltävä	93.2	32.5	4.8

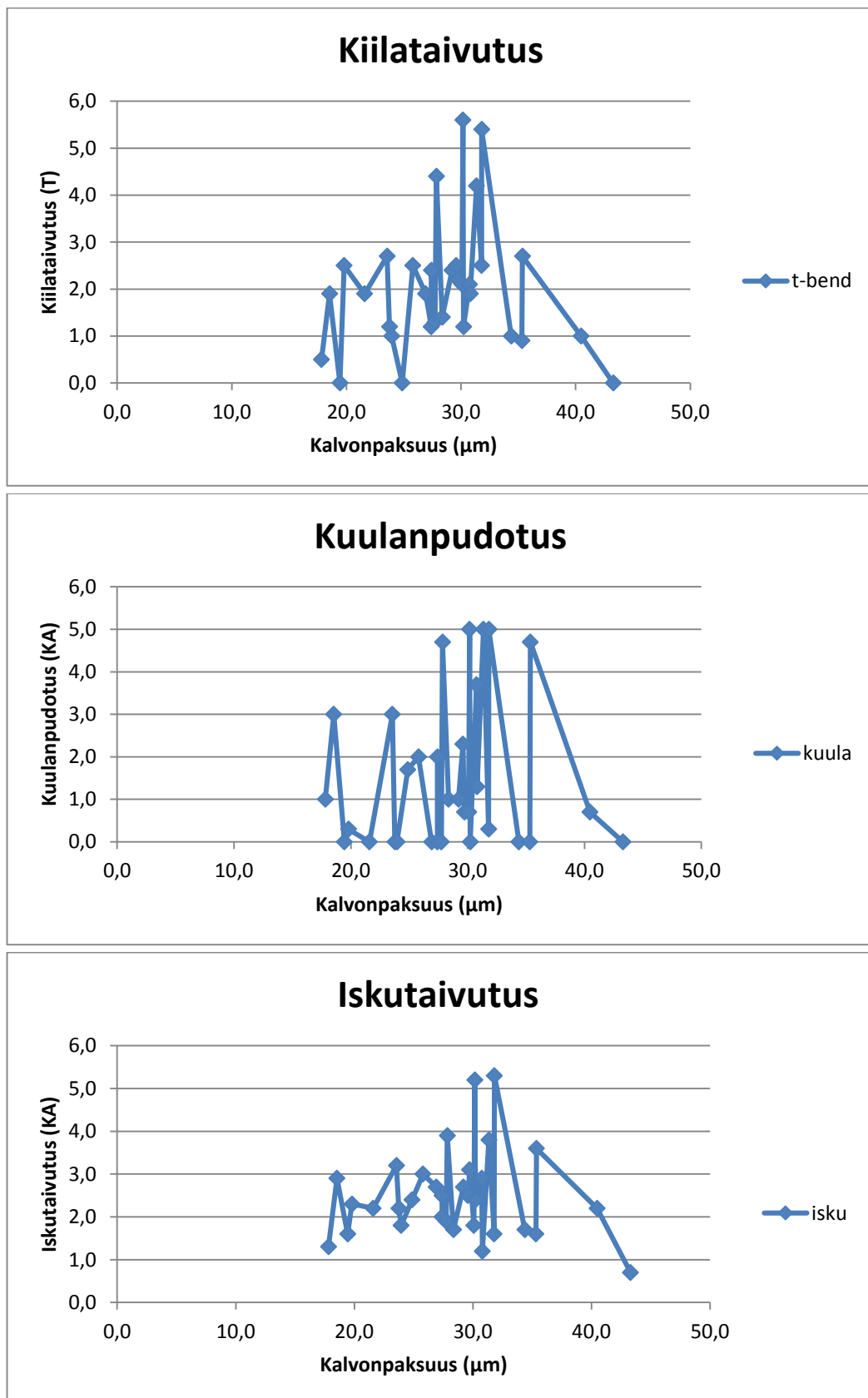
Liite 5: Joustavuus-, adheesio- ja kovettumisen onnistumista arvioivien testien tulokset

Näyte	Joustavuus			Adheesio	Kovettuminen	
	Kuula (KA)	T-bend	Isku (KA)	Hila	MEK	Stripper
2	4,7	2,7	3,6	2,0	100	60
3	0,7	1,0	2,2	0,0	100	60
4	0,3	2,5	2,3	1,0	100	60
5	0,0	1,9	2,2	1,0	100	60
6	0,0	2.3*	1,6	1,0	100	60
7	0,0	1,0	1,8	1,0	100	60
8	3,0	1,9	2,9	2,0	100	60
9	0,0	1,2	2,2	0,0	100	60
11	3,0	2,7	3,2	1,0	100	60
10	0,0	2,2	2,2	0,0	100	60
12	0,3	2,4	2,8	2.0p	100	60
13	1,0	2,4	2,7	1.0p	100	60
14	1,0	0,5	1,3	0,0	100	60
15	0,7	1,7	1,4	0,0	100	60
16	5,0	4,2	3,8	2,0	100	60
17	4,0	1,2	2,0	0,0	100	60
18	0,0	0,0	0,7	1,0	100	60
19	1,7	0,0	2,4	0,0	100	60
20	0,0	1,3	1,9	1,0	100	60
21	1,3	1,9	1,2	3,0	100	60
22	0.7*	2,1	1,8	1,0	100	60
23	1.0*	1,4	1,7	0,0	100	60
24	2,0	2,4	2,0	3,0	28	55
25	3,7	2,1	2,9	0,0	100	60
26	2,3	2,5	2,5	1.0p	100	60
27	0.3*	2,5	1,6	0,0	100	60
28	0,7	2,2	3,1	0,0	100	60
29	0.0*	1,9	2,7	0,0	100	60
30	0,0	0,9	1,6	0,0	100	60
31	0,0	1,0	1,7	0,0	100	60
32	4,7	4,4	3,9	0,0	100	60
33	5,0	5,6	5,2	0,0	100	60
34	0,0	1,2	2,4	1,0	100	60
35	5,0	5,4	5,3	0,0	100	60
36	0,0	1,2	2,5	1,0	100	60
37	2,0	2,5	3,0	0,0	100	60
38	0.0*	1,0	1,8	0,0	65*	60
39	0.0*	1,6	1,8	0,0	85*	60
40	0.0*	2,5	1,7	0,0	60*	60
41	0.0*	1,9	2,1	0,0	70*	60
42	1,0	3,8	4,3	1,0	100	60

\*Tulosten tulkinta haastavaa pinnoitteen ulkonäön vuoksi

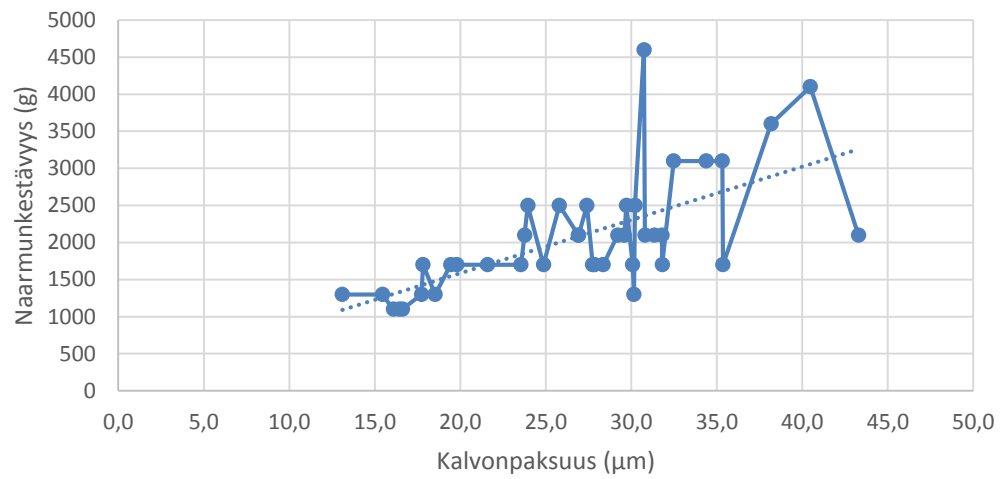
p=Vain primeriin

## Liite 6. Kalvonpaksuuden vertailu mittaustuloksiin

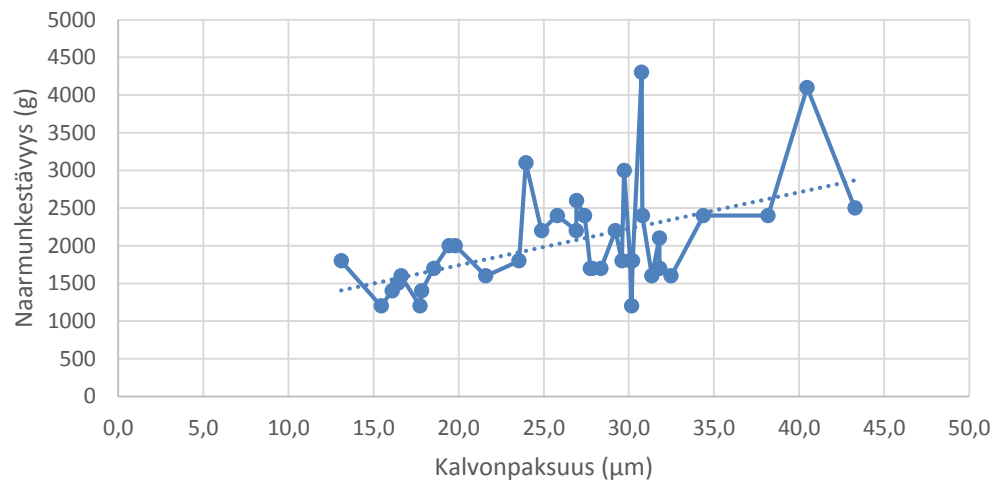




Neulanaarmutus sinkkiin



Neulanaarmutus Clemenillä



## Liite 7. Kovuus- ja kulutuskestävyystestien tulokset.

Näyte	Kovuus	Naarmunkestävyys				Hankaus
	Kynä	Primer	Sinkki	Kolikko	Clemen	KA
2	H	< 1300	1700	-	-	-
3	F	1700	4100	1	4100	1,25
4	F	< 1300	1700	1	2000	3,00
5	F	1300	1700	1	1600	2,50
6	HB	1300	1700	3	2000	1,50
7	HB	1300	2500	2	3100	1,75
8	F	1300	1300	1	1700	2,50
9	HB	1700	2100	-	-	-
11	F	1700	1700	3	1800	2,50
10	F	2100	2100	1	2600	2,75
12	HB	3100	3600	2	2400	2,00
13	B	< 1300	2100	2	2200	2,00
14	HB	1300	1700	1	1400	2,50
15	HB	-	1300	-	1800	2,50
16	F	1300	2100	0	1600	1,50
17	F	-	1300	-	1200	1,75
18	B	1300	2100	1	2500	1,00
19	HB	1300	1700	0	2200	1,75
20	HB	1300*	1700*	3	1700	1,50
21	HB	1300	2100	1	2400	1,00
22	HB	1300*	1700*	3	1800	2,00
23	2B	1300	1700	3	1700	1,75
24	2B	< 1300	1700	4	1600	1,25
25	F	1300	4600	3	4300	1,50
26	HB	1300	2100	3	1800	1,50
27	F	1300	2100	3	2100	2,00
28	H	< 1300	2500	2	3000	2,50
29	F	1300	2100	2	2200	2,50
30	HB	1700	3100	-	-	-
31	HB	1700	3100	2	2400	2,00
32	F	1300	1700	1	1700	1,75
33	F	1300	1300	1	1200	1,50
34	HB	1700	2500	1	1800	1,50
35	F	1700	1700	1	1700	1,75
36	HB	1300	2500	1	2400	1,75
37	HB	1300	2500	1	2400	2,00
38	HB	-	< 1300	-	1400	1,50
39	HB	-	< 1300	-	1600	1,50
40	HB	-	< 1300	-	1500	2,00
41	HB	-	1300	-	1200	2,00
42	HB	1300	3100	2	1600	2,75

\*Tulosten tulkinta haastavaa pinnoitteen ulkonäön vuoksi

Liite 8: Pinnoitteiden pisteytys testaustulosten mukaan.

Näyte	Pinnoite	Flex			Robust				Lisäarvo		
		kuula	t-bend	isku	neula	clemen	kovuus	hankaus	efekti	kerros/ kalvo	hot
1	VC Deco 1 A	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
2	Struktuuripolyesteri A	1	2	1	2	0	5	0	0	0	0
3	Pural	4	5	3	5	5	4	5	0	-1	0
4	VC Robust 2 A	4	2	3	2	3	4	1	0	0	0
5	VC Robust 1	5	3	3	2	2	4	2	0	0	0
6	VC Robust/Deco	5	2	5	2	3	3	4	1	0	0
7	Purex	5	5	4	4	5	3	3	0	0	0
8	VC Flex	2	3	2	1	2	4	2	0	0	0
9	ARS-polyesteri A	5	4	3	3	0	3	0	0	0	0
10	VC Robust 3	2	2	1	2	3	4	2	0	0	0
11	VC Robust 2 B	5	3	3	3	4	4	1	0	-1	0
12	KCC Deco 1 A	4	2	2	5	4	3	3	1	-1	0
13	KCC Deco 1 B	3	2	2	3	3	2	3	1	0	0
14	KCC Robust 1 A	3	5	5	2	1	3	2	0	1	0
15	KCC Robust 1 B	4	4	5	1	3	3	2	0	1	0
16	Struktuuripolyesteri B	1	1	1	3	2	4	4	0	0	0
17	VC Deco 1 B	1	4	3	1	1	4	3	1	1	0
18	BIC Flex 1	5	5	5	3	4	2	5	0	0	0
19	BIC Flex 2	2	5	3	2	3	3	3	0	0	0
20	BIC Robust 1	5	4	4	2	2	3	4	0	0	0
21	BIC Robust 2	3	3	5	3	4	3	5	0	0	0
22	BIC Deco 1	4	3	4	2	3	3	3	1	0	0
23	BIC Deco 2	3	4	4	2	2	1	3	1	0	0
24	BIC Flex/Robust	2	2	3	2	2	1	5	0	0	0
25	BIC Deco 3	1	3	2	5	5	4	4	1	0	0
26	BIC Deco 4	2	2	2	3	3	3	4	1	0	0
27	BIC Deco 5	4	2	5	3	3	4	3	1	0	0
28	BIC Deco 6	4	3	1	4	5	5	2	1	0	0
29	VC Deco 2	5	3	2	3	3	4	2	1	0	0
30	ARS-polyesteri B	5	5	5	5	0	3	0	0	0	0
31	ARS-polyesteri C	5	5	4	5	4	3	3	0	0	0
32	KCC Hot 1	1	1	1	2	2	4	3	0	0	1
33	KCC Hot 2	1	1	1	1	1	4	4	0	0	1
34	KCC Robust 2	5	4	3	4	3	3	4	0	0	0
35	KCC Robust 3	1	1	1	2	2	4	3	0	0	0
36	KCC Flex A	5	4	2	4	4	3	3	0	0	0
37	KCC Flex B	2	2	2	4	4	3	3	0	0	0
38	KCC Deco 2 A	5	5	4	1	1	3	4	1	0	0
39	KCC Deco 2 B	5	4	4	1	2	3	4	1	0	0
40	KCC Deco 2 C	5	2	4	1	1	3	3	1	0	0
41	KCC Deco 2 D	5	3	3	1	1	3	3	1	0	0
42	BASF Flex/Robust 2	3	1	1	5	2	3	1	0	-1	0

Liite 9: Testatut näytteet paremmuusjärjestyksessä Flex- ja Robust-kategorioihin jaettuna.

Näyte	Robust+lisä	Näyte	Flex+lisä
25	19	18	15
3	18	30	15
28	16	38	15
7	15	7	14
12	15	14	14
21	15	15	14
31	15	31	14
18	14	39	14
26	14	6	13
27	14	20	13
34	14	9	12
36	14	22	12
37	14	23	12
6	13	27	12
16	13	34	12
29	13	40	12
13	12	41	12
22	12	3	11
32	12	5	11
10	11	21	11
11	11	29	11
17	11	36	11
19	11	11	10
20	11	17	10
33	11	19	10
35	11	4	9
39	11	12	8
4	10	13	8
5	10	28	8
15	10	8	7
24	10	24	7
38	10	25	7
42	10	26	7
8	9	37	6
14	9	10	5
23	9	2	4
40	9	32	4
41	9	33	4
30	8	42	4
2	7	16	3
9	6	35	3
1	2	1	2

## Liite 10: Koeajoraportti

RUUKKI METALS Oy RM R&D / Maalipinnoitus		<b>KOEAJORAPORTTI</b>				1(3)
<b>Laatijat</b>		<b>Jakelu</b>		<b>Pvm</b>	<b>Til. nro</b>	
Nia Korpela ja Katri Kivihaka		P.Heinonen, J.Tuominen,T.Sillanpää, J.Kastell, T.Verwijnen, A.Kopio, J.Miettinen, J. Lamberg, S.Viitanen, J.Rummukainen, S.Pursiainen, K.Salonen, labra, maalarit, A.Markkula, P.Köykkä		20.10.2014	59158T/003, 59158S/001	
<b>MAALI</b>		<b>K685-4H5 Beckersin Vivid Krinkle Coat</b>		<b>Koeajopvm</b>	<b>Linja</b>	
				16.10.2014	KA	
<b>MAALITIEDOT</b>						
<b>PINTAPUOLI</b>	<b>RUUKKI KOODI</b>	<b>ERÄNUMERO</b>	<b>VISKOSITEETTI</b>			
Pohjamaali	26K5-4H5-02	K68029				
Pintamaali	K685-000-02	K68035				
<b>TAUSTAPUOLI</b>	<b>RUUKKI KOODI</b>	<b>ERÄNUMERO</b>	<b>VISKOSITEETTI</b>			
Pohjamaali	2410-04	280928				
Pintamaali	4200-013-03	13029				
<b>RAAKA-AINE</b>						
<b>KELA</b>	<b>PAKSUUS</b>	<b>LEVEYS</b>	<b>ASLA</b>	<b>MÄÄRÄ (t)</b>	<b>TESTAUSRAPORTTI (näyttenro)</b>	
BZ353201, 02	0,75	1253	5025 (HC260LA-A-M)	5	8309092, 8309100	
EE53001	1,0	1253	5682 (S280GD+Z100-M-C)	5	8309109	
<b>UUNIEN LÄMPÖTILAT</b>						
<b>0,75mm</b>	<b>VYÖHYKE 1</b>	<b>VYÖHYKE 2</b>	<b>VYÖHYKE 3</b>	<b>VYÖHYKE 4</b>	<b>VYÖHYKE 5</b>	<b>PMT</b>
Pohjamaali	225	305	305	365	-	
Pintamaali	225	300	300	280	230	n. 228
<b>1,0 mm</b>	<b>VYÖHYKE 1</b>	<b>VYÖHYKE 2</b>	<b>VYÖHYKE 3</b>	<b>VYÖHYKE 4</b>	<b>VYÖHYKE 5</b>	<b>PMT</b>
Pohjamaali	250	330	330	290	-	
Pintamaali	250	325	325	305	255	n. 228
<b>LINJAN NOPEUS / MAALAUSTELOJEN NOPEUDET</b>						
<b>PINTAPUOLI</b>	<b>MAALAUSTELA</b>	<b>NOSTOTELA</b>	<b>MITTATELA</b>	<b>AJONOEUS</b>		
Pohjamaali				40 m/min		
Pintamaali	Katso tulokset-välilehti					
<b>TAUSTAPUOLI</b>	<b>MAALAUSTELA</b>	<b>NOSTOTELA</b>	<b>MITTATELA</b>			
Pohjamaali						
Pintamaali						
<b>KALVONPAKSUUDET</b>						
	<b>MÄRKÄKALVO</b>		<b>KUIVAKALVO</b>			
<b>PINTAPUOLI</b>	<b>KÄSIMITTARI</b>	<b>FAG</b>	<b>FAG</b>	<b>LABORATORIO</b>		
Pohjamaali						
Pintamaali	Katso tulokset-välilehti					
<b>TAUSTAPUOLI</b>	<b>KÄSIMITTARI</b>	<b>FAG</b>	<b>FAG</b>	<b>LABORATORIO</b>		
Pohjamaali						
Pintamaali						
<b>YLIJÄÄMÄMAALI</b>						
<input type="checkbox"/> EI KELPAA TUOTANTOAJOON <input checked="" type="checkbox"/> MUUTA: <u>Hävitetään</u>						
<input type="checkbox"/> KELPAA TUOTANTOAJOON						
<b>KOEAJETTUIJEN KELOJEN SIIJOITUS</b>						
<input type="checkbox"/> TILAUS, nro: _____ <input type="checkbox"/> 2-VALINTA, 9812 <input type="checkbox"/> KOE-VAKIO (HÄ), 8800 <input type="checkbox"/> KOE-VAKIO (KA), 8802 <input checked="" type="checkbox"/> MUU: <b>BZ353201 säilytetään</b> <b>BZ353202 huononpoisto KA ja asiakkaalle (tilaus tulossa)</b> <b>EE53001 arkille Hml</b>						
TUOTANTOON (primer-koeajo) TUOTANTOON (taustamaalikoeajo) ROMUKSI KOEPROFILOINTI, VIMPELI KOEPROFILOINTI, ALAJÄRVI						
Hyväksytty: _____ Hylätty: _____ Uusinta-ajo: _____ KK						
<b>KOEAJETUN KELAN TULOKSET, sivu 2</b>						

RUUKKI METALS Oy RM R&D / Maalipinnoitus		KOEAJORAPORTTI				2(3)	
Laatijat		Jakelu		Pvm	Til. nro		
Nia Korpela ja Katri Kivihaka		P.Heinonen, J.Tuominen,T.Sillanpää, J.Kastell, T.Verw ijnen, A.Kopio, J.Miettinen, J. Lamberg, S.Viitanen, J.Rummukainen, S.Pursiainen, K.Salonen, labra, maalarit, A.Markkula, P.Köykkä		20.10.2014	59158T/004, 59158S/002		
MAALI		K684-972 KCC:n Wrinkle clear blue		Koeajopvm	Linja		
				16.10.2014	KA		
MAALITIEDOT							
PINTAPUOLI	RUUKKI KOODI	ERÄNUMERO	VISKOSITEETTI				
Pohjamaali	-						
Pintamaali	K684-972-08	40904138	75s				
TAUSTAPUOLI	RUUKKI KOODI	ERÄNUMERO	VISKOSITEETTI				
Pohjamaali	2410-04	280928					
Pintamaali	4200-013-03	13029					
RAAKA-AINE							
KELA	PAKSUUS	LEVEYS	ASLA	MÄÄRÄ (t)	TESTAUSRAPORTTI (näyttenro)		
BZ353601, 02	0,75	1253	5025 (HC260LA-A-M)	5	8309121, 8309128		
EE530101	1,0	1253	5682 (S280GD+Z100-M-C)	5	8309134		
UUNIEN LÄMPÖTILAT							
0.75 mm	VYÖHYKE 1	VYÖHYKE 2	VYÖHYKE 3	VYÖHYKE 4	VYÖHYKE 5	PMT	
Pohjamaali	225	305	305	365	-		
Pintamaali	220	295	295	275	225	n. 220	
1,0 mm	VYÖHYKE 1	VYÖHYKE 2	VYÖHYKE 3	VYÖHYKE 4	VYÖHYKE 5	PMT	
Pohjamaali	250	330	330	290			
Pintamaali	245	320	320	300	250	n. 220	
LINJAN NOPEUS / MAALAUSTELOJEN NOPEUDET							
PINTAPUOLI	MAALAUSTELA	NOSTOTELA	MITTATELA		AJONNOPEUS		
Pohjamaali					40 m/min		
Pintamaali	Katso tulokset-välilehti						
TAUSTAPUOLI	MAALAUSTELA	NOSTOTELA	MITTATELA				
Pohjamaali							
Pintamaali							
KALVONPAKSUUDET							
	MÄRKÄKALVO		KUIVAKALVO				
PINTAPUOLI	KÄSIMITTARI	FAG	FAG	LABORATORIO			
Pohjamaali							
Pintamaali	Katso tulokset-välilehti						
TAUSTAPUOLI	KÄSIMITTARI	FAG	FAG	LABORATORIO			
Pohjamaali							
Pintamaali							
YLIJÄÄMÄMAALI							
<input type="checkbox"/> EI KELPAA TUOTANTOAJOON <input checked="" type="checkbox"/> MUUTA: <u>Hävitetään</u>				KELPAA TUOTANTOAJOON <input type="checkbox"/>			
KOEAJETTUJEN KELOJEN SIIJOITUS							
<input type="checkbox"/> TILAUS, nro: _____ <input checked="" type="checkbox"/> 2-VALINTA, 9812: <b>kelat BZ353601, BZ353602</b> <input type="checkbox"/> KOE-VAKIO (HÄ), 8800 <input type="checkbox"/> KOE-VAKIO (KA), 8802 <input checked="" type="checkbox"/> MUU: <u>EE530101 arkille Hml</u>				TUOTANTOON (primer-koeajo) <input type="checkbox"/> TUOTANTOON (taustamaalikoeajo) <input type="checkbox"/> ROMUKSI <input type="checkbox"/> KOEPROFILOINTI, VIMPELI <input type="checkbox"/> KOEPROFILOINTI, ALAJÄRVI <input type="checkbox"/>			
				Hyväksytty: _____ Hylätty: _____ Uusinta-ajo: _____ KK _____			
KOEAJETUN KELAN TULOKSET, sivu 2							

<

Liite 11: Koeprofiloidut tuotteet

1. Hyvinkäällä Metallivalmiste A. Laaksoella profiloitu arkistohylly Beckersin pinnoitteella.





2. Forssan LVI-valmisteella profiloitu työkalukaappi, jossa on KCC:n pinnoite.



3. Forssan LVI-valmisteella profiloitu työkalukaappi, jossa on Beckersin pinnoite.

